

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**SISTEMA DE GESTIÓ DOMÒTICA PER OPTIMITZAR EL
CONSUM ENÈRGETIC D'UN HABITATGE**



Memòria Tècnica

Autors: Ametller Parellada, Enric

Director: Manzanares Brotons, Manuel Andrés

Convocatòria: Juny, 2019



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Biblioteca del Campus Diagonal-Besòs

Resum

Actualment, el problema de la ineficiència energètica afecta la majoria dels habitatges dels països desenvolupats. Aquest projecte té com a objectiu estudiar aquest fet i intentar-lo reduir al màxim així com plantejar-ne un exemple d'aplicació per a un habitatge real, el qual es caracteritza per ser unifamiliar, de dues plantes i amb una superfície de 273m².

En primer lloc, es realitzarà un estudi dels principals camps on es malgasta energia en un domicili i es qüestionaran les carències típiques de les instal·lacions actuals que ho causen. Tot seguit, s'exposaran les solucions més adients i es dissenyarà una instal·lació domòtica en la qual el control es basa en microcontroladors PIC (Peripheral Interface Controller). La instal·lació contemplarà tant la unitat central, com els perifèrics i la comunicació entre ells.

Per al disseny de la instal·lació es tindrà especial compte en treure profit de la llum solar i la utilització de tarifes d'energia elèctrica amb discriminació horària.

Tanmateix, es construirà un prototip de proves a escala reduïda de l'habitatge en qüestió. Aquest prototip implementarà una part dels elements de l'habitatge real i s'instal·larà en una maqueta, la qual representa la planta superior de l'immoble, per poder-ne veure i confirmar el bon funcionament d'una forma més simplificada.

Un cop finalitzat el projecte es pot apreciar el potencial dels controls digitals per aquestes aplicacions, essent capaços de manejar tota la instal·lació d'un habitatge, a més a més d'oferir altres prestacions com comunicar-se amb l'usuari o amb un ordinador.

Resumen

Actualmente, el problema de la ineficiencia energética afecta la mayoría de las viviendas en los países desarrollados. Este proyecto tiene como objetivo estudiar este hecho e intentar reducirlo al máximo así como plantear un ejemplo de aplicación para una vivienda real, la cual se caracteriza por ser unifamiliar, de dos plantas y con una superficie de 273m².

En primer lugar, se realizará un estudio de los principales campos donde se desaprovecha energía en una vivienda y se cuestionarán las carencias típicas de las instalaciones actuales que lo causan. A continuación, se expondrán las soluciones más adecuadas y se diseñará una instalación domótica en la que el control se basa en microcontroladores PIC (Peripheral Interface Controller). La instalación contemplará tanto la unidad central, como los periféricos y la comunicación entre ellos.

Para el diseño de la instalación se tendrá especial cuidado en aprovechar la luz solar y la utilización de tarifas de energía eléctrica con discriminación horaria.

Asimismo, se construirá un prototipo de pruebas a escala reducida de la vivienda en cuestión. Este prototipo implementará una parte de los elementos del domicilio real y se instala en una maqueta, la cual representa la planta superior de la vivienda, para poder ver y confirmar el correcto funcionamiento de dicha instalación de una forma más simplificada.

Una vez finalizado el proyecto se puede apreciar el potencial del control digital para estas aplicaciones, siendo capaces de controlar toda la instalación de un hogar, además de ofrecer otras prestaciones como una comunicación con el usuario u ordenador personal.

Abstract

Currently, the problem of energy is becoming more common in developed countries. This project aims to study this fact and try to reduce it to the maximum as well as set an example of an application for real housing, which is characterized by being a single-family, two-story and with a surface area of 273m².

In the first place, a study will be made in order to know where the major wastes of energy in a home are, and the typical deficiencies of the current installation that cause it will be questioned. Next, the most appropriate solutions will be exposed, and a home automation installation will be designed in which the control is based on PIC microcontrollers (Peripheral Interface Controller). The installation will cover not only the central unit but also the peripherals and the communication between them.

For the design of the installation, special attention will be given to taking advantage of sunlight, and the use of electric hourly discrimination tariffs.

Moreover, a small-scale prototype of the house in question will be built. This prototype will implement a part of the elements of the real home and will be installed in a model, which represents the top floor of the house, in order to see and confirm the correct working of the installation in a more simplified way.

Once the project has been completed, it is possible to appreciate the potential of digital control for these applications, being able to handle the entire installation of a home, as well as offering other features such as communicating with the user or with a personal computer.

Agraïments

Agrair sobretot al Manuel Manzanares, tutor del projecte per guiar-me en el projecte quan ha sigut necessari, i sempre trobar algun moment en una agenda molt atapeïda.

Agrair al la família per donar-me suport moral en els moments que pensava que no arribaria a entregar-lo per falta de temps.

Finalment, agrair a molta gent que mitjançant internet penja vídeos didàctics compartint els seus coneixements amb tota la gent del món els quals m'han ajudat a aprendre el funcionaments de molts programes nous per mi.

ÍNDEX

Resum.....	i
Resumen.....	ii
Abstract.....	iii
Agraïments.....	iv
Índex d'imatges.....	ix
Índex de taules.....	xi
1. Objecte del projecte	1
2. Motivació i justificació.....	2
3. Introducció a la domòtica	3
3.1. Estat de l'art.....	3
3.2. Camps d'aplicació.....	4
3.2.1. Estalvi energètic.....	4
3.2.2. Confort.....	4
3.2.3. Seguretat.....	4
3.2.4. Accessibilitat.....	5
3.3. Tipologia de la xarxa	5
3.3.1. Sistema centralitzat.....	5
3.3.2. Sistema descentralitzat.....	6
3.3.3. Sistema distribuït o mixta	7
3.4. Avantatges i inconvenients.....	7
3.4.1. Avantatges.....	7
3.4.2. Inconvenients	7
4. Problemes energètics típics en un habitatge.....	9
4.1. Il·luminació	9
4.2. Climatització	9
4.3. Gestió energètica general	9
5. Possibles solucions.....	11

5.1.	Control d'il·luminació.....	11
5.2.	Control de climatització	12
5.3.	Gestió energètica general.....	15
5.4.	Unitat de control	18
6.	Solució escollida.....	19
6.1.	Solucions adoptades.....	21
6.1.1.	Unitat de control.....	21
6.1.2.	Il·luminació interior	22
6.1.3.	Motors elèctrics per a persianes.....	22
6.1.4.	Sensors de llum exterior	22
6.1.5.	Actuadors per activació d'electrodomèstics	22
6.1.6.	Regulació de la calefacció	23
6.1.7.	Sensors de finestres obertes	23
6.1.8.	Sensors de presència.....	23
6.1.9.	Control de potència màxima	24
6.1.10.	Interfície amb l'usuari.....	24
6.2.	Elecció de sensors i actuadors	25
6.2.1.	Bombetes LED.....	25
6.2.2.	Motor per persianes.....	25
6.2.3.	Sensors de llum exterior	25
6.2.4.	Contactors.....	26
6.2.5.	Sensor de temperatura.....	27
6.2.6.	Sensor de finestres obertes.....	28
6.2.7.	Radiadors elèctrics	28
6.2.8.	Sensors de presència.....	30
6.2.9.	Relotge de temps real.....	30
6.2.10.	Pantalla LCD.....	31
6.3.	Recompte general de sensor, actuadors i interfícies	32
7.	Disseny del prototip de venda.....	35

7.1.	Diagrama de blocs del sistema.....	35
7.2.	Microcontrolador	36
7.2.1.	Circuit bàsic per al funcionament dels microcontroladors	40
7.2.2.	Oscil·lador.....	41
7.2.3.	Programador.....	42
7.3.	Perifèrics.....	43
7.3.1.	Circuit de control de les sortides digitals:.....	43
7.3.2.	Circuit per als sensors de llum.....	46
7.3.3.	Circuit per als sensors de temperatura.....	49
7.3.4.	Circuit per controlar els radiadors elèctrics	51
7.3.5.	Circuit per al sensor de presència:	53
7.3.6.	Circuit per el sensor de finestres obertes	54
7.3.7.	Circuit per al teclat matricial	55
7.3.8.	Circuit per al rellotge de temps real.....	57
7.3.9.	Circuit per la pantalla LCD.....	57
7.4.	Protocols de comunicació	58
7.4.1.	RS232	58
7.4.2.	I2C.....	61
7.5.	Simulacions.....	63
7.6.	Disseny de les plaques de circuit imprès.....	65
7.6.1.	Software de disseny	65
7.6.2.	Placa del microcontrolador principal	65
7.6.3.	Placa del microcontrolador secundari.....	67
7.6.4.	Placa del microcontrolador per la regulació de temperatura	69
8.	Disseny del prototip de prova	72
8.1.	Abast del prototip.....	72
8.2.	Hardware del prototip de proves.....	73
8.2.1.	Il·luminació.....	74
8.2.2.	Control persianes.....	75

8.2.3.	Control calefacció.....	78
8.2.4.	Teclat matricial.....	80
8.3.	Software.....	83
8.3.1.	Diagrames de flux.....	84
9.	Normativa.....	92
10.	Possibles millores.....	93
10.1.1.	Regulació de la calefacció amb radiadors d'aigua	93
10.1.2.	Instal·lació de unes interfícies millorades.....	93
10.1.3.	Realització de una comunicació amb ordinador.....	93
11.	Conclusions.....	94
12.	Bibliografia.....	95

Índex d'imatges

<i>Imatge 1: Sistema domòtic centralitzat (font: elaboració pròpia)</i>	6
<i>Imatge 2: Sistema domòtic descentralitzat (font: elaboració pròpia)</i>	6
<i>Imatge 3: Sistema domòtic distribuït o mixta (font: elaboració pròpia)</i>	7
<i>Imatge 4: Comparativa entre sistemes de il·luminació (font: www.eficienciame.com)</i>	15
<i>Imatge 5: Classificació dels electrodomèstics segons l'eficiència (font: www.enertec.es)</i>	16
<i>Imatge 6: Tarifes de discriminació horària (font: www.comparadorluz.com)</i>	17
<i>Imatge 7: Comparació entre tarifa normal i tarifa amb discriminació horària (font: Referència [1])</i>	17
<i>Imatge 8: Plànol de la planta superior del habitatge (font: Elaboració pròpia)</i>	20
<i>Imatge 9: Plànol planta inferior de l'habitatge (font: Elaboració pròpia)</i>	21
<i>Imatge 10: Bombeta LED Philips (font: www.philips.es)</i>	25
<i>Imatge 11: Motor tubular per a persiana (font: www.leroymerlin.es)</i>	25
<i>Imatge 12: Dependència de la resistència respecte la llum en una LDR (font: Referència [2])</i>	26
<i>Imatge 13: LDR (font: www.ondaradio.es)</i>	26
<i>Imatge 14: Relé Finder (font: www.findernet.com)</i>	27
<i>Imatge 15: Relé Finder (font: www.findernet.com)</i>	27
<i>Imatge 16: Sensor de temperatura LM35 (font: www.ondaradio.es)</i>	28
<i>Imatge 17: Sensor d'interruptor magnètic (font: www.omron.es)</i>	28
<i>Imatge 18: Radiador elèctric Facula (font: www.facula.es/catálogo.pdf)</i>	29
<i>Imatge 19: Sensor de presència Schneider (font: Referència [3])</i>	30
<i>Imatge 21: Pantalla LCD 16X2 (font: www.ondaradio.es)</i>	31
<i>Imatge 22: Distribució d'elements en la planta superior (font: Elaboració pròpia)</i>	33
<i>Imatge 23: Distribució d'elements en la planta superior (font: Elaboració pròpia)</i>	34
<i>Imatge 24: Diagrama de blocs del sistema domòtic (font: Elaboració pròpia)</i>	35
<i>Imatge 25: Diagrama de pins del PIC18F4620 (font: www.microchip.com)</i>	37
<i>Imatge 26: Diagrama de pins del PIC18F2580 (font: www.microchip.com)</i>	39
<i>Imatge 27: Esquema bàsic per al funcionament del microcontrolador (font: Elaboració pròpia)</i>	40
<i>Imatge 28: Oscil·lador amb cristall de quars (font: www.ondaradio.es)</i>	41
<i>Imatge 29: Programador PickIt 3 (font: www.microchip.com)</i>	42
<i>Imatge 30: Esquema elèctric per a connectar el programador (font: Elaboració pròpia)</i>	42
<i>Imatge 31: Esquema elèctric de les sortides digitals (font: Elaboració pròpia)</i>	43
<i>Imatge 32: Esquema elèctric per als sensor de llum (font: Elaboració pròpia)</i>	46
<i>Imatge 33: Cicle d'histeresi en un "Schmitt trigger" (font: Referència [4])</i>	47
<i>Imatge 34: Esquema elèctric de etapa amplificadora (font: Elaboració pròpia)</i>	50
<i>Imatge 35: Esquema per al control dels radiadors (font: Elaboració pròpia)</i>	51
<i>Imatge 36: Detector de passos per zero (font: Elaboració pròpia)</i>	52
<i>Imatge 37: Esquema per als sensors de presència (font: Elaboració pròpia)</i>	53
<i>Imatge 38: Esquema per al sensor de finestra oberta (font: Elaboració pròpia)</i>	54

<i>Imatge 39: Teclat matricial (font: Referència [6])</i>	55
<i>Imatge 40: Esquema per la connexió de un teclat matricial (font: Elaboració pròpia)</i>	56
<i>Imatge 41: Esquema per el rellotge de temps real (font: Elaboració pròpia)</i>	57
<i>Imatge 42: Connexió entre la pantalla LCD i el controlador PCF (font: Elaboració pròpia)</i>	58
<i>Imatge 43: Pins del connector DB9 per RS232 (font: http://www.usconverters.com)</i>	60
<i>Imatge 44: 'Pinout' del integrat MAX232 (font: www.electricaltechnology.org)</i>	60
<i>Imatge 45: Seqüència de bits en la comunicació I2C (font: www.luisllamas.es)</i>	62
<i>Imatge 46: Esquema per el expansor de bus I2C (font: Elaboració pròpia)</i>	63
<i>Imatge 47: Simulació del teclat matricial i la pantalla LCD (font: Elaboració pròpia)</i>	64
<i>Imatge 48: Simulació dels motors pas a pas (font: Elaboració pròpia)</i>	64
<i>Imatge 49: Logotip Eagle (font: www.autodesk.com)</i>	65
<i>Imatge 50: Esquema sencer per al microcontrolador principal (font: Elaboració pròpia)</i>	66
<i>Imatge 51: PCB del microcontrolador principal</i>	67
<i>Imatge 52: Esquema sencer per al microcontrolador secundari (font: Elaboració pròpia)</i>	68
<i>Imatge 53: PCB del microcontrolador secundari</i>	69
<i>Imatge 54: Esquema sencer per al control de la temperatura (font: Elaboració pròpia)</i>	70
<i>Imatge 55: PCB del control de temperatura</i>	71
<i>Imatge 56: Esquema per la connexió dels LEDs (font: Elaboració pròpia)</i>	74
<i>Imatge 57: Motor pas a pas 28BYJ-48 (font: www.aliexpress.com)</i>	75
<i>Imatge 58: Integrat ULN2003 (font: www.luisllamas.com)</i>	76
<i>Imatge 59: Esquema per al control dels motors pas a pas (font: Elaboració pròpia)</i>	77
<i>Imatge 60: Esquema per al control de la resistència tèrmica (font: Elaboració pròpia)</i>	78
<i>Imatge 61: SOA del transistor TIP 147 (font: Referència [7])</i>	79
<i>Imatge 62: Esquema per la connexió del teclat matricial amb 2 pins (font: Elaboració pròpia)</i>	81
<i>Imatge 63: Diagrama de flux del menú inicial (font: Elaboració pròpia)</i>	85
<i>Imatge 64: Diagrama de flux del control automàtic (font: Elaboració pròpia)</i>	86
<i>Imatge 65: Diagrama de flux 1 del control manual (font: Elaboració pròpia)</i>	87
<i>Imatge 66: Diagrama de flux 2 del control manual (font: Elaboració pròpia)</i>	88
<i>Imatge 67: Diagrama de flux del mode canviar consigna (font: Elaboració pròpia)</i>	89
<i>Imatge 68: Diagrama de flux del control amb histèresi (font: Elaboració pròpia)</i>	90
<i>Imatge 69: Diagrama de flux del control PID (font: Elaboració pròpia)</i>	91

Índex de taules

<i>Taula 1: Comparativa de radiadors (font: elaboració pròpia)</i>	14
<i>Taula 2: Comparativa de consums segons eficiència de una nevera (font: elaboració pròpia)</i>	16
<i>Taula 3: Potència consumida en els actuadors (font: Elaboració pròpia)</i>	26
<i>Taula 4: Potència necessària dels radiadors elèctrics segons la superfície (font: Elaboració pròpia)</i>	29
<i>Taula 5: Recompte de sensors, actuadors i interfícies (font: Elaboració pròpia)</i>	33
<i>Taula 6: Característiques del PIC18F4620 (font: www.microchip.com)</i>	37
<i>Taula 7: Característiques del PIC18F2580 (font: www.microchip.com)</i>	38
<i>Taula 8: Comparació dels elements entre els dos prototips (font: Elaboració pròpia)</i>	73
<i>Taula 9: Seqüència per al control dels motors pas a pas (font: Elaboració pròpia)</i>	76
<i>Taula 10: Seqüència en decimal per al funcionament dels motors pas a pas (font: Elaboració pròpia)</i>	77
<i>Taula 11: Seqüència al port B per al control dels motors pas a pas (font: Elaboració pròpia)</i>	78
<i>Taula 12: Comparació dels nivells de tensió teòrics i reals per a cada tecla (font: Elaboració pròpia)</i>	82
<i>Taula 13: Lectura ADC per a cada tecla i marges (font: Elaboració pròpia)</i>	83

1. Objecte del projecte

Aquest projecte està enfocat a resoldre un problema que afecta la majoria dels habitatges en l'actualitat: la ineficiència energètica. Per aquest motiu es proposa una solució que consisteix a dissenyar un sistema domòtic per una casa familiar d'obra nova, és a dir, el sistema proposat serà instal·lat des de zero, fet que estalvia haver de modificar el cablejat perquè s'adapti a la comunicació bus, de la mateixa manera els nous actuadors i electrodomèstics seran elegits perquè siguin compatibles amb el sistema domòtic instal·lat.

Per assolir els objectius esmentats, s'avaluaran diferents camps on una instal·lació domòtica seria eficient, després es proposaran diferents solucions per cada camp i finalment s'elegiran solucions en funció de les necessitats d'aquest habitatge. A més a més, s'escolliran aparells comercials que puguin escaure en la solució escollida, intentant dissenyar acuradament la instal·lació proposada, així es podrà elaborar un pressupost aproximat de què pot costar una instal·lació d'aquestes característiques.

En tractar-se d'un habitatge aïllat i amb pocs elements que puguin fer ombra als voltants, es posarà especial interès a aprofitar la llum solar. Un altre punt fort de la instal·lació serà l'ús de tarifes de discriminació horària, i el control dels aparells elèctrics de l'habitatge per tal de treure profit d'aquesta tarifa.

El disseny es realitzarà utilitzant microcontroladors PIC (*Peripheral Interface Controllers*), els quals són capaços de controlar un gran nombre de perifèrics, ja sigui per control estàndard ON/OFF o per comunicacions bus amb protocols com; I2C, RS232, SPI, etc.

El projecte es dividirà en dos prototips, el prototip de venda i el prototip de proves. En el primer s'implementarà tot el *hardware* necessari per a controlar el sistema domòtic de l'habitatge però no el *software*, ja que dóna més flexibilitat a l'usuari per a programar el seu mode de control segons els gustos. En segon lloc, s'elaborarà el prototip de proves on s'elaborarà una part del *hardware* en escala més reduïda així com el *software* perquè es puguin veure les principals funcions de control de l'habitatge. Aquest prototip de proves vindrà instal·lat en una maqueta a escala perquè doni més perspectiva de realitat a tot el sistema.

2. Motivació i justificació

La domòtica és un camp que m'ha apassionat des de petit, veient com una casa es pot autogestionar ella sola i treure profit en molts camps d'aplicació com són la gestió energètica, el confort, la seguretat o l'accessibilitat.

Les matèries de la universitat que més m'han cridat l'atenció durant aquests anys han sigut les que tocava microcontroladors com Informàtica Industrial, o les de dissenyar sistemes d'adquisició de dades i control d'actuadors com Instrumentació o Electrònica Analògica. Alveure que aquesta matèria es tocava en la seva totalitat en aquest projecte m'ha fet decantar per l'elecció d'aquest tema.

Per altra banda, la creixent preocupació a escala mundial del malbaratament d'energia i la gran contaminació que produeix la seva obtenció m'ha fet adonar de la necessitat de l'aplicació de l'eficiència energètica en els habitatges del futur.

3. Introducció a la domòtica

La domòtica, terme que prové de Domos (casa en Llatí) i de Tica (que funciona per si sola en Grec) es fonamenta en una instal·lació capaç de funcionar automàticament implementada a un habitatge, proporcionant gran nombre d'avantatges en els camps de l'estalvi energètic, el confort, la seguretat, les comunicacions i l'accessibilitat.

També podem parlar del terme Inmòtica, com a branca de la domòtica però aplicada a les indústries, on està molt potenciat el camp de l'estalvi energètic, ja que aporta grans beneficis a l'optimitzar recursos i disminuir costos.

3.1. Estat de l'art

Actualment la domòtica s'implementa tant en obra nova, com en habitatges que ja disposen de la instal·lació, però es vol optimitzar per tal d'aprofitar els avantatges que garanteix la domòtica.

La instal·lació es basa en l'aplicació de noves tecnologies en l'habitatge per tal de dotar-lo d'autocontrol, així com flexibilitat per l'usuari a l'hora de programar-ne el control.

Les principals tecnologies contemplen la instal·lació de cablejats de tipus bus, per reduir el gran nombre de cablejat i utilització de sistemes de comunicació per poder governar l'habitatge des de qualsevol punt del món i d'un sistema de processament eficient que sigui capaç de prendre decisions per si sol i reguli la majoria d'actuadors de l'habitatge, decisions sempre enfocades a millorar aspectes de la vida de les persones que habiten a l'habitatge.

Els principals estàndards d'instal·lacions domòtiques són EIB (Bus d'Instal·lació Europeu) que actualment s'anomena KNX, que a diferència de X10 que utilitza la xarxa elèctrica, aquest utilitza el seu propi cablejat. LONworks és un gran estàndard sobretot a Amèrica del Nord, el qual està agafant gran presència al mercat. ModBus és un protocol utilitzat principalment en la indústria, ja que va ser dissenyat per a treballar amb els PLC i ara la majoria d'instrumentació de la indústria posseeix comunicació per Modbus.

3.2. Camps d'aplicació

3.2.1. Estalvi energètic

És el camp més desenvolupat de la domòtica, ens permet tenir un control eficient de la majoria d'aparells de l'habitatge; enllumenat, persianes i tendals, calefacció, electrodomèstics, etc. Aplicacions típiques seria controlar les llums i les persianes en funció de la llum exterior, regulació eficient i descentralitzada de la calefacció i l'aire condicionat, consumir la major part d'energia elèctrica durant les hores valls, en la mesura del possible, en una tarifa de discriminació horària, etc.

A més a més també es contempla la instal·lació d'energies renovables a l'habitatge, principalment la fotovoltaica i la geotèrmica, aquesta última és molt innovadora i s'utilitza per a fer funcionar les bombes de calor.

3.2.2. Confort

En el confort es busca que es pugui tenir un control de diferents aparells des d'un mateix punt, per exemple el control d'escenes d'una habitació. O a més gran escala, el control general de tots els aparells en una sola pantalla, així l'usuari s'estalvia anar a controlar-los un per un.

Per altra banda les comunicacions també hi juguen un paper clau, actualment molts fabricants proporcionen aplicacions per *smartphones* que permeten controlar tots aquests elements de la casa simplement des del telèfon mòbil.

3.2.3. Seguretat

En la seguretat podem parlar de dues branques:

- Control de fugues i d'incendis: S'implementen sistemes de detecció de fugues de gaso sensors de fum, així doncs el sistema és capaç de detectar qualsevol problema i avisar els serveis corresponents (bombers o policia) automàticament sense que l'usuari en sigui conscient o en el cas que no es trobi en l'habitatge.

- Control d'intrusos: S'implementen sistemes d'alarma en portes i finestres que seran activats per l'usuari quan sigui fora de l'habitatge, així doncs el mateix sistema avisarà a la policia en cas que detecti presència d'intrusos.

3.2.4. Accessibilitat

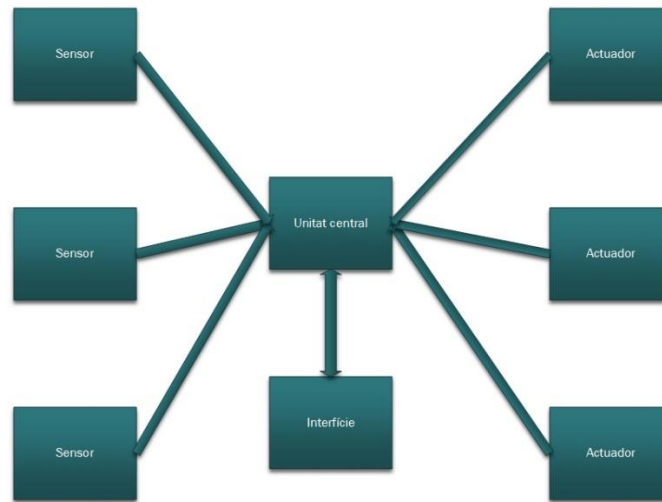
Aquest camp s'aplica sobretot quan alguna persona discapacitada viu en l'habitatge. Es tracta de la instal·lació d'aplicacions que facilitin la vida de la persona discapacitada de tal manera que no hagi de dependre de l'ajuda d'altres. Tanmateix, també es pot aplicar a gent sense discapacitats, simplement per a facilitar la vida quotidiana dins l'habitatge.

3.3. Tipologia de la xarxa

Es pot classificar una instal·lació domòtica segons la seva tipologia, és a dir, la manera com estan distribuïts els actuadors, sensors i unitat central. Es distingeixen tres tipus de tipologies:

3.3.1. Sistema centralitzat

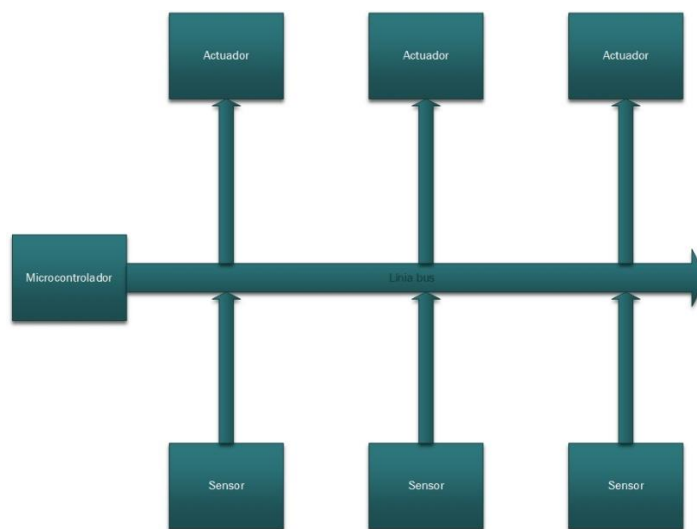
Es diu que un sistema és centralitzat quan hi ha una única unitat central i tota la resta d'elements van connectats a ella i depenen estrictament d'ella, per la qual cosa, si la unitat central falla tot el sistema fallarà. Per altra banda, aquest sistema dona poca flexibilitat a la instal·lació a l'hora d'ampliar-la, ja que està limitada al nombre d'entrades/sortides de la unitat central i a la seva capacitat de processament.



Imatge 1: Sistema domòtic centralitzat (font: elaboració pròpia)

3.3.2. Sistema descentralitzat

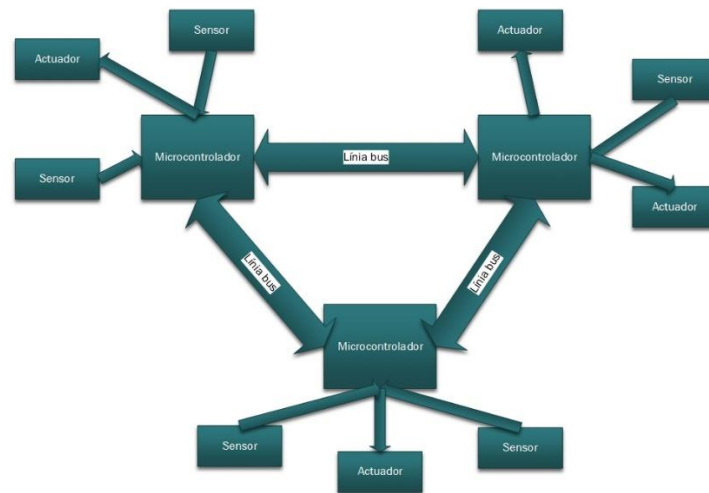
Es diu que un sistema és descentralitzat quan cada element disposa d'una petita unitat de control. Tots els elements poden anar connectats entre si mitjançant un bus i a més i pot haver –hi una unitat de control que gestioni totes les altres unitats de control. Els avantatges que té aquest sistema són que si falla la unitat central el sistema pot continuar funcionant i que és fàcilment ampliable.



Imatge 2: Sistema domòtic descentralitzat (font: elaboració pròpia)

3.3.3. Sistema distribuït o mixta

Es diu que un sistema és distribuït o mixta quan combina característiques dels dos anteriorment esmentats. Pot tenir més d'una unitat central, que estaran comunicades entre si, i cada una controlarà una sèrie d'elements de la instal·lació. Aquest sistema dona una flexibilitat molt gran a la instal·lació, però per contra en complica la programació.



Imatge 3: Sistema domòtic distribuït o mixta (font: elaboració pròpia)

3.4. Avantatges i inconvenients

Tot i semblar una tecnologia molt innovadora i que ajudi a les persones en tots els aspectes també pot comportar coses negatives, per això és interessant estudiar aquest apartat.

3.4.1. Avantatges

- Suposa un gran estalvi econòmic sobretot en el camp energètic.
- Augmenta significativament el confort en la vida de les persones, un aspecte que es busca cada cop més degut a l'estrès que genera el món globalitzat.
- Millora la seguretat dels habitatges, ja sigui en l'aspecte de delinqüència com de catàstrofes com incendis o fuites.

3.4.2. Inconvenients

- Requereix una gran inversió inicial.

- Fomenta el sedentarisme de les persones, a l'integrar moltes millores en l'àmbit del confort i de l'accessibilitat.
- Són aplicacions difícils de programar per tal de adaptar-les a cada consumidor.

4. Problemes energètics típics en un habitatge

Aquest projecte s'enfoca a resoldre el problema de la ineficiència energètica de l'habitatge en qüestió. Per fer-ho es plantejaran una sèrie de problemes relacionats amb la ineficiència energètica que poden ser resolts amb l'aplicació d'una instal·lació domòtica.

4.1. Il·luminació

En la nostra vida quotidiana la llum és un recurs indispensable, ja que no som capaços de fer res sense ella. La majoria d'hores que passem dins l'habitatge no disposem de llum solar sobretotsi treballem durant el dia, endemés aquest problema s'agreuja a l'hivern perquè hi ha menys hores de llum solar. Molts cops no en som conscients i malgastem o fem un ús excessiu de la llum artificial. Es presenten els següents problemes:

- Oblidem apagar la llum del dormitori, lavabo, despatx o altres habitacions un cop en sortim.
- No s'aprofita al màxim la llum exterior.
- No s'utilitzen llums regulables i per tant el sistema d'il·luminació treballa sempre a màxima potència.

4.2. Climatització

Quan parlem de climatització segurament ens ve el cap una de les majors despeses en un habitatge, sobretot a l'hivern en calefacció però també a l'estiu amb aire condicionat als indrets més calorosos. Es presenten els següents problemes:

- Centralització de la calefacció: Normalment només hi ha un únic termòstat instal·lat en tot l'habitatge.
- Control ineficient de la calefacció: El tipus de control que utilitzen la gran majoria de calefaccions és tot/res.
- Utilització de aparells de climatització amb les finestres obertes.

4.3. Gestió energètica general

Hi han despeses elèctriques que són inevitables en un habitatge, però es poden optimitzar molt més. Es presenten els següents problemes:

- Utilització de llums ineficients.
- Aïllaments ineficients o absència d'aquests en els habitatges.
- Utilització d'electrodomèstics ineficients.
- Contracte de tarifes de preu fix.
- Es contracta més potència de la necessària.
- Manca de control sobre el consum propi.

5. Possibles solucions

5.1. Control d'il·luminació

Per fer un control d'il·luminació eficient es poden presentar diverses solucions, tenint en compte els problemes presentats en l'apartat 4.1. Les solucions proposades seran les següents:

- **Control llum interior:** El control de la llum interior és molt eficaç en habitatges on varia bastant la quantitat de llum exterior que entra a l'habitatge durant el dia, com serien habitatges tapats de blocs de pisos o mal orientats.

Gràcies a aquest sistema la llum interior es regula en funció de la llum que entra per la finestra. Això ens suposa un gran estalvi en les hores que s'està fent fosc o a les habitacions que no hi toca el sol directament. Com a exemple pràctic suposem que el sol es comença a pondre i estem treballant en el despatx, necessitem un cert nivell d'il·luminació per llegir, ja que si no es cansa la vista, el mateix sistema de regulació anirà augmentant el nivell de la llum interior del despatx a mesura que el sol ens proporcioni menys llum. Poden passar una o dues hores d'ençà que el sol es comença a pondre fins que no proporciona llum, així doncs tot aquest temps hem estat estalviant consum de llum en el despatx.

És necessari la instal·lació d'il·luminació regulable per a poder aplicar aquesta solució.

- **Control de presència:** Es tracta d'instal·lar un sistema de control de presència en cada habitació o només en les habitacions més utilitzades, per exemple es podria ometre l'espai de la rentadora, l'habitació de convidats o el traster. La seva funció seria tenir el control directe sobre la il·luminació de cada habitació, si s'ha deixat el llum encès i no detecta presència en un període de temps, el sistema procedirà a tancar-lo automàticament.

Aquest sistema tindria una utilitat afegida en el camp de la seguretat, aprofitant el control de presència per activar l'alarma contra intrusos quan sigui necessari.

- **Control de persianes:** Aquest sistema, com el control d'il·luminació anirà controlat per la llum exterior, així doncs, al matí les persianes s'obriran i a la nit les persianes es tancaran, òbviament l'usuari ha de poder programar aquesta funció segons l'habitació o el dia de la setmana, ja que al dormitori no interessa que la persiana s'obri sola si està previst dormir.

Per altra banda aquest sistema proporciona una aplicació addicional en l'àmbit del confort, habilitant un control automàtic de totes les persianes de l'habitatge des de qualsevol punt.

- **Control d'escenes:** Es tracta d'un sistema bastant innovador que combina principalment el control d'il·luminació i el control de persianes en un sol conjunt on es programen diferents escenes, per exemple: dia, nit i relaxament. La unitat de control domòtica pot alternar les diferents escenes segons: la franja horària que hagi sigut programada, la llum exterior, o bé pot ser seleccionada manualment amb la interfície que proporciona el sistema domòtic.

Així doncs cada escena tindrà associats una sèrie d'actuadors i posicions:

- **Dia:** persianes pujades, llums interiors apagades.
- **Nit:** persianes baixades, llums interior enceses.
- **Relaxament:** persianes mig obertes o llums regulables a mitja potència per aconseguir un nivell d'il·luminació programat.

Aquest sistema pot ser una mica feixuc en tema *software*, ja que s'ha d'adaptar a cada usuari i a cada habitació, però un cop programat els avantatges són remarcables tant en l'estalvi energètic com en el confort.

5.2. Control de climatització

Per a realitzar un control de climatització eficient podem plantejar una sèrie de solucions contemplant els problemes presentats en l'apartat 4.2.

Les solucions plantejades seran les següents:

- Sistema de regulació eficient: Generalment el control de la calefacció es fa mitjançant un termòstat, un aparell que mesura la temperatura interior i controla els elements de la calefacció segons una consigna que introdueix l'usuari. Tenim tres tipus de termòstats:
 - **Termòstat mecànic:** Termòstat que està format per elements totalment mecànics tant de mesura com d'actuació, el que fa que només pugui desenvolupar una regulació *on-off*, la qual és molt ineficient.

- **Termòstat digital:** Aquests ja incorporen elements electrònics, el que els fa més precisos a l'hora de mesurar la temperatura. També incorporen possibilitat de programació horària o per dies, així com un sistema de regulació més eficient.
- **Termòstat modulant:** Es tracta d'una millora dels termòstats digitals que implementen sistemes de regulació molt més complexos així com eficients, per exemple una regulació PID. Actualment són d'obligatòria instal·lació per a regular les calderes de condensació segons el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en l'Edificació (RITE).
- **Descentralització i programació per zones:** La descentralització de la calefacció consisteix en instal·lar un sistema de regulació format per radiador-termòstat independent en cada habitació de la casa, o bé, tractar-ho per zones:
 - Dormitoris.
 - Zones comunes: menjador, sala d'estar i estudi.
 - Zones poc concorregudes: espai de neteja, despensa, traster i garatge.

Mitjançant aquest sistema es pot programar cada habitació o zona segons el període horari que s'utilitza més i, per tant, desconnectar la calefacció quan l'espai no sigui utilitzat.

Per tal de facilitar als habitants de la casa la programació, és interessant que el sistema domòtic disposi d'una gestió total des de la interfície de la unitat general. Possibilitant una programació des de la unitat central però una gestió descentralitzada de cada element.

- **Control de finestres obertes:** Sovint s'obren les finestres de l'habitatge per ventilar-lo i no es recorda a tancar-les. Així, si hi ha la calefacció o l'aire condicionat engegats suposa un malbaratament d'energia. Per això, és necessari la instal·lació de sensors que detectin si una finestra és oberta, en cas afirmatiu el microcontrolador desconnectarà la calefacció de l'habitació on hagi sigut detectada, en el cas que es disposi d'un sistema descentralitzat de calefacció.
- **Col·locació eficient dels radiadors:** Sempre és més aconsellable col·locar els radiadors sota les finestres, ja que la calor radiada quan topa amb l'aire fred de la finestra tendeix a distribuir-se uniformement per tota l'habitació. En cas de no poder-se instal·lar, per problemes d'espai, s'han d'instal·lar a les parets interiors, perquè així s'aprofita la radiació a través de les parets.
- **Elecció d'un sistema de climatització:** Fins ara en la gran majoria d'habitatges s'instal·la el sistema de calefacció tradicional de radiadors d'aigua, però ara amb la domòtica s'obren

noves solucions que poden arribar a ser rentables i que val la pena valorar-les. Seguidament es farà una breu descripció i comparació.

- **Radiadors d'aigua:** Funcionen amb aigua calenta al seu interior i necessiten una instal·lació en tot l'habitatge, tant de caldera com de conductes. Tenen bastant inèrcia tèrmica tot i que depèn del material del qual són fabricats. En compartir tot un únic circuit d'aigua, és molt difícil descentralitzar el control de la calefacció. Normalment les calderes funcionen amb gas natural i el preu d'aquest és constant i més baix que l'electricitat.
- **Radiadors elèctrics:** Funcionen amb l'electricitat i dissipant potència tèrmica. Tenen una instal·lació molt senzilla, ja que només necessiten una presa de corrent. La inèrcia tèrmica és baixa, tot i que també depèn del material que estan fabricats. Poden ser regulats individualment de forma fàcil i això permet una descentralització de la calefacció més senzilla. El preu de l'electricitat és car, però pot ser variable si disposem d'una tarifa de discriminació horària (apartat 5.3.).
- **Aire condicionat amb bomba de calor:** Es tracta d'un sistema bastant innovador, amb el gran avantatge que incorpora aire condicionat i calefacció en el mateix aparell, a més a més permet una descentralització de la calefacció, ja que es regeix per termòstats independents. A més a més té una gran eficiència sempre que les temperatures exteriors no siguin inferiors als 0 °C.

Tipus	Instal·lació	Descentralització	Eficiència	Cost mensual
Radiadors d'aigua	Cara	Complicada	Alta	Baix
Radiadors elèctrics	Barata	Fàcil	Baixa	Alt
Bomba de calor	Mitjana	Fàcil	Molt alta	Mitjà

Taula 1: Comparativa de radiadors (font: elaboració pròpia)

5.3. Gestió energètica general

En aquest apartat es tractaran solucions generals per reduir el consum d'energia elèctrica d'un habitatge, les solucions proposades seran les següents:

- **Ús d'il·luminació LED:** En els últims vint anys hi ha hagut una gran millora en l'eficiència energètica dels aparells que s'utilitzen per il·luminar la casa; bombetes, fluorescents, etc. Seguidament es pot veure una comparació dels diferents sistemes amb el seu consum:

Tipo bombilla	450 (Lumens)	800 (Lumens)	1100 (Lumens)	1600 (Lumens)	Duración (años)	Ahorro
 Incandescente	40W	60W	75W	100W	1	0%
 Halógenas	29W	43W	53W	72W	1-3	+30%
 Bajo Consumo	9W	14W	19W	23W	6-10	+75%
 LED	8W	13W	17W	20W	15-25	+80%

Imatge 4: Comparativa entre sistemes de il·luminació (font: www.eficienciame.com)

Com es pot veure cada avenç en la tecnologia d'il·luminació, a més a més de reduir-ne el consum n'ha allargat la vida útil. La gran reducció del consum ve sobretot pel fet que les antigues bombetes transformaven només una petita part de l'energia en llum, l'altre es perdia en forma de calor. Cal dir que la utilització de bombetes d'incandescència està gairebé obsoleta.

- **Ús d'electrodomèstics eficients:** Actualment es pot trobar una etiqueta en tots els electrodomèstics on indica el fabricant i model, l'eficiència energètica, el soroll, mida i altres. Si ens centrem en l'eficiència energètica, trobem un gràfic com aquest:



Imatge 5: Classificació dels electrodomèstics segons l'eficiència (font: www.enertec.es)

Com es pot veure es tracta d'una comparativa entre el consum mitjà d'un electrodomèstic i l'estalvi o excés de consum respecte a aquest.

Seguidament en una taula es podrà apreciar el càlcul de consum d'un electrodomèstic real. És el cas d'una nevera Siemens amb una qualificació A++ on a l'etiqueta indica un consum anual de 273 kWh/any.

Qualificació	Consum anual	Diferencia 1 any	Diferencia 5 anys	Diferencia 15 anys
A+++	246kWh	-27kWh	-135kWh	-405kWh
A++	273kWh	-	-	-
A+	300kWh	+27kWh	+135kWh	+135kWh
A	330kWh	+57kWh	+285kWh	+855kWh
B	363kWh	+90kWh	+450kWh	+1.350kWh
C	399kWh	+126kWh	+630kWh	+1.890kWh
D	439kWh	+166kWh	+830kWh	+2.490kWh

Taula 2: Comparativa de consums segons eficiència de una nevera (font: elaboració pròpia)

- **Tarifes amb discriminació horària:** Una solució molt interessant en els habitatges domòtics és una tarifa elèctrica amb discriminació horària. Es tracta d'una tarifa en la qual el preu de l'electricitat varia segons una franja horària, aquesta franja horària és diferent segons el període d'hivern o d'estiu com es pot veure en aquesta imatge:



Imatge 6: Tarifes de discriminació horària (font: www.comparadorluz.com)

Aquestes tarifes poden tenir dues o tres franges horàries, en aquest cas, són dues franges horàries, les hores punta (vermell) i les hores vall (blau).

Per altra banda, els preus de l'electricitat són una mica més cars en hores punta respecte a una tarifa estàndard, però, són bastant més barats en hores valls respecte a una tarifa estàndard. En la següent imatge es pot veure un exemple. Els preus són només orientatius, ja que poden variar depenent de la companyia subministradora o altres factors com l'oferta i demanda:



Imatge 7: Comparació entre tarifa normal i tarifa amb discriminació horària (font: Referència [1])

Una manera de treure profit d'una tarifa de discriminació horària en una instal·lació domòtica és programant els electrodomèstics de més consum com la rentadora, el rentaplats o l'assecadora perquè es posin en funcionament en les hores vall de la tarifa, reduint considerablement el cost del seu funcionament. Per aconseguir-ho es necessita la utilització d'algun element de control que permeti la connexió o desconnexió de

l'aparell de la xarxa elèctrica, i que pugui ser controlat mitjançant la unitat central, per exemple un relé.

5.4. Unitat de control

La unitat de control és el cor de la instal·lació domòtica i s'han de valorar diferents fabricants per tal de adaptar-la el millor possible a les especificacions de la instal·lació domòtica. Entre ells podem contemplar fabricants de plataformes genèriques com Arduino i Raspberry o fabricants de microcontroladors en general com Microchip i Atmel.

- Arduino: Es tracta de una plataforma genèrica de hardware i software oberts, el que significa que tota la comunitat aporta projectes en blocs digitals. Les seves plaques normalment incorporen un microcontrolador Atmel i tota l'electrònica necessària per a que funcioni només connectant-lo a l'ordinador. Tenen diferents mides segons el nombre d'entrades i sortides i les seves prestacions.
- Raspberry: Es tracta de una plataforma genèrica semblant a Arduino, però a diferència que els seus prototips són molt més potents, de fet estant qualificats com ordinadors. Utilitzen microcontroladors ARM i els seus últims models incorporen connexions *Ethernet*, *USB*, *Bluetooth*, *Wireless*.
- Microchip: És un gran fabricant de tot tipus d'elements electrònics, però també destacat per fabricar els microcontroladors PIC (Peripheral Interface Controller) que estan dissenyats per a controlar gran nombre de perifèrics. Integren tot tipus de protocols de comunicació com RS232, I2C, SPI, MSSP i altres mòduls com el CCP per a generar senyals PWM o el convertidor analògic-digital.
- Atmel: Actualment adquirida per Microchip. Atmel ha sempre s'ha enfocat en el disseny de microcontroladors amb arquitectures molt conegudes com 8-bit AVR, 32-bit AVR o 32-bit ARM. Al tractar-se de microcontroladors de propòsit més general no integren tants mòduls com els anterior descrits en la família PIC.

6. Solució escollida

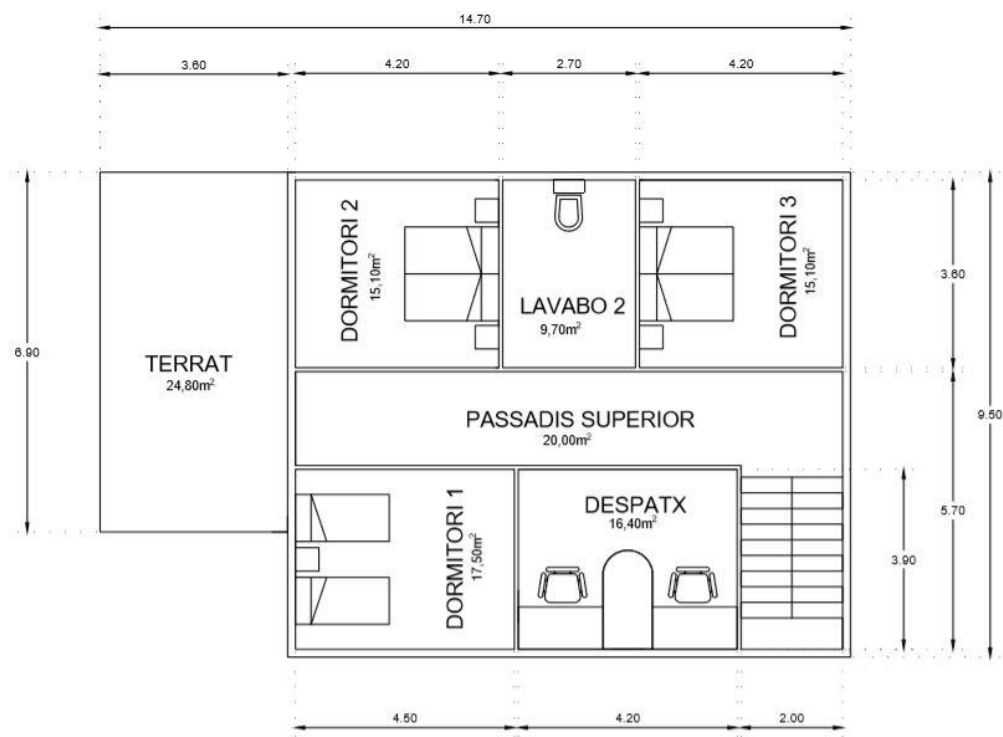
En aquest capítol es procedirà a dissenyar el sistema domòtic d'un habitatge unifamiliar aïllat amb una superfície de 273 m². Aquest habitatge té dues plantes a més de garatge i terrassa, del qual la superfície habitable, i per tant, en la que aniran la majoria d'aparells domòtics és de 224 m².

Al tractar-se d'un habitatge aïllat es pot aprofitar molt més la llum exterior, ja que no hi ha altres edificis que li puguin fer ombra, per això una part del sistema domòtic anirà centrat a aprofitar la llum exterior per tal de disminuir les despeses en il·luminació artificial.

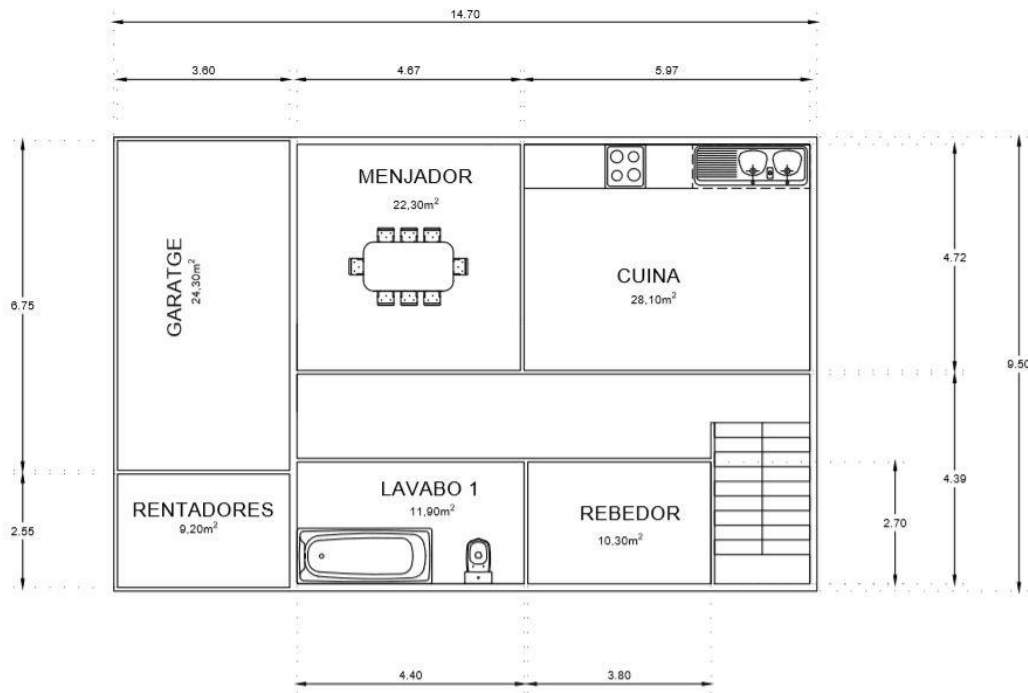
Com a inconvenient les despeses en calefacció seran majors pel fet que no hi ha cap casa emparedada i és més fàcil que hi entri el fred, però aquest problema pot ser solucionat a l'hora de la construcció de l'edifici emprant un bon aïllament, tant a les parets com a les finestres. Per tant, es posarà especial èmfasi en què a l'hora de construir l'habitatge es compleixi la directiva de la Unió Europea (2010/31/EU, 2010) que obliga als nous edificis a tenir una alta eficiència energètica. També es tindrà en compte la col·locació eficients dels radiadors, com s'ha comentat en l'apartat 5.2.

Les funcions que implementarà la domòtica en l'habitatge són les tres principals que s'han comentat en el capítol anterior. Es farà un control sobre d'il·luminació interior i les persianes, un control sobre els sistemes de calefacció i un control sobre el consum energètic general.

A continuació es mostren els plànols de l'habitatge en qüestió per poder veure la distribució d'estàncies així com la superfície de cada una:



Imatge 8: Plànol de la planta superior del habitatge (font: Elaboració pròpia)



Imatge 9: Plànol planta inferior de l'habitatge (font: Elaboració pròpia)

6.1. Solucions adoptades

6.1.1. Unitat de control

Per a l'elecció de la unitat de control s'ha tingut en compte optimitzar el *hardware* i els costos. Primerament, s'han descartat les plataformes genèriques Arduino i Raspberry per la poca flexibilitat de *hardware* que tenen i no poder-les integrar en una placa general amb tot el disseny electrònic. A més del seu cost, el qual es paga per elements que estan implementats en la placa que no seran utilitzats en el disseny.

Per altra banda, entre Atmel i Microchip s'ha elegit Microchip pel gran potencial de controlar perifèrics així com els mòduls que implementa, els quals seran de gran profit pel sistema (ADC i CCP), a més de trobar gran quantitat d'informació tant per part del fabricant com per part d'usuaris en blocs a la xarxa.

6.1.2. Il·luminació interior

Per a la il·luminació interior s'utilitzaran bombetes de tipus LED per a un major estalvi econòmic, com s'ha comentat en el Capítol 5. S'instal·larà una bombeta per a cada habitació de la casa, essent un total d'11.

L'il·luminària podrà ser controlada tant pel microcontrolador com físicament amb interruptors convencionals. El control d'il·luminació es farà en funció dels sensors de presència, en cas de no detectar presència s'apagarà el llum de l'habitació.

6.1.3. Motors elèctrics per a persianes

A les persianes s'hi instal·laran motors elèctrics que en permetran la pujada i baixada de forma automàtica d'acord amb la llum exterior, tot i que també podran ser pujades i baixades manualment per l'usuari gràcies als commutadors que incorporen els motors. El microcontrolador controlarà el motor mitjançant dos relés, un per a la pujada i un per a la baixada, respectivament. S'instal·laran un total de 10 motors per a persianes.

6.1.4. Sensors de llum exterior

Els sensors de llum exterior seran els encarregats de mesurar la llum exterior i comunicar-ho al microcontrolador. La seua senyal serà necessària per a controlar les persianes quan sigui necessari.

Tot i tractar-se de sensors analògics, un hardware serà dissenyat perquè en sobrepassar una consigna (modificable manualment) doni una sortida digital. S'explicarà amb més detall al següent capítol de hardware.

6.1.5. Actuadors per activació d'electrodomèstics

Per tal d'aprofitar al màxim una tarifa de discriminació horària, s'instal·laran relés en l'alimentació dels electrodomèstics amb més versatilitat a l'hora d'utilitzar-los, és a dir, els electrodomèstics que no sigui imprescindible el seu ús en un moment determinat del dia. El seu funcionament consistirà en el fet que l'usuari deixarà programat l'electrodomèstic en qüestió (rentadora, rentaplats o assecadora) de tal manera que quan el preu de l'electricitat sigui més

reduït, el microcontrolador donarà l'ordre d'activar els contactors dels electrodomèstics. Si un electrodomèstic no ha sigut programat, no es posarà en marxa.

6.1.6. Regulació de la calefacció

Per a la regulació de la calefacció es dissenyarà un sistema de regulació que serà instal·lat en cada habitació de la casa, de manera que hi haurà una descentralització de la calefacció, tal com s'exposa en el Capítol 5.

Aquest sistema consistirà de microcontrolador, sensor de temperatura, sensor de finestra oberta i actuador que regularà eficientment i independentment cada radiador de la casa. Endemés, incorporarà una interfície pertal que l'usuari de la casa pugui canviar la consigna de temperatura de l'habitació o programar-ne l'encesa en unes hores determinades.

Els radiadors de l'habitatge seran elèctrics, tot i ser més ineficients que els radiadors d'aigua són més adequats per aquesta aplicació, ja que són fàcils de controlar des del punt de vista electrònic, a més tenen una instal·lació més fàcil perquè no són necessaris els conductes d'aigua.

Finalment, disposarà d'un sistema de connexió amb el microcontrolador general en forma de bus on actuarà com a esclau, per a tenir un control general quan sigui necessari.

6.1.7. Sensors de finestres obertes

En totes les finestres de l'habitatge s'instal·larà un sensor de finestra oberta en forma de contacte, per tant la finestra oberta significarà un contacte obert ('0' digital) i tancada un contacte tancat ('1' digital).

Els microcontroladors que regulen la calefacció interpretarà l'estat de les finestres, i en cas que alguna estigui oberta enviaran l'ordre d'aturar la calefacció de l'habitació on s'hagi detectat.

6.1.8. Sensors de presència

S'instal·larà un sensor de presència en cada habitació de la casa, el microcontrolador central rebrà la informació d'aquest sensor i en el cas que no rebi presència durant un temps i hi hagi el llum encès de l'habitació procedirà a apagar-lo.

Aquesta funció es pot desactivar en determinades habitacions i horaris, per exemple durant la nit en els dormitoris, és normal que no detecti presència si hi ha persones dormint.

6.1.9. Control de potència màxima

Per donar un ús afegit al control directe sobre els electrodomèstics es pot realitzar una gestió de potència màxima, que permetrà reduir la potència màxima contractada a la companyia elèctrica.

El microcontrolador serà capaç de deduir la potència elèctrica total que està consumint la instal·lació en cada moment i bloquejar l'activació d'un element més en cas que se superi la potència màxima contractada i evitant així que el Interruptor de Control de Potència Màxima (ICPM) salti.

6.1.10. Interfície amb l'usuari

La interfície amb l'usuari és de gran importància per tal que els habitants de la casa es puguin comunicar amb el microcontrolador i modificar qualsevol paràmetre o estat de la instal·lació domòtica, per exemple la temperatura d'una habitació, l'estat de les persianes o l'estat de les llums, així com consultar si hi ha alguna finestra oberta.

La interfície estarà formada per un teclat matricial de 16 tecles i per una tallada LCD, el teclat matricial va connectat directament als pins del microcontrolador i la pantalla LCD va connectada al bus I2C.

Serà instal·lada una interfície en el microcontrolador principal i una per a cada microcontrolador que regula la calefacció, en aquest cas servirà per assignar la temperatura de cada habitació independentment.

6.2. Elecció de sensors i actuadors

6.2.1. Bombetes LED

Les bombetes instal·lades seran del tipus LED, del fabricant Philips i que s'instal·laran en un portalàmpades convencional. Les seves característiques principals són:

- Tensió de funcionament: 220V
- Potència: 8W
- Potència equivalent a llum incandescent: 60W
- Cicle de vida: 15.000h
- Directives UE: A+ i RoHS



*Imatge 10: Bombeta LED Philips
(font: www.philips.es)*

6.2.2. Motor per persianes

Per a les persianes s'ha elegit un motor tubular de la marca Jarolift i model 10050345 SL45 50/12. Es troba fàcilment al mercat i és molt senzill de muntar. Funciona mitjançant dos contactes, un de pujada i un de baixada. A més inclou un commutador per al seu control manual. Les seves característiques principals són:

- Tensió de funcionament: 220V
- Potència: 205W
- Parell màxim desenvolupat: 50Nm
- Directives: TUV i RoHS

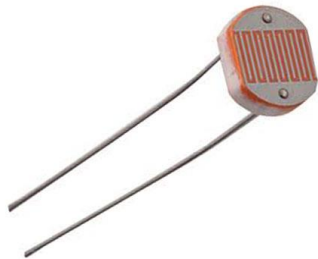


*Imatge 11: Motor tubular per a persiana
(font: www.leroymerlin.es)*

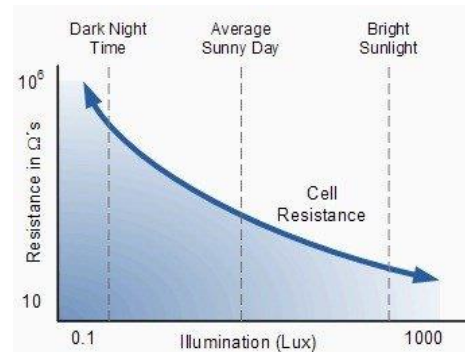
6.2.3. Sensors de llum exterior

Per als sensors de llum exterior s'utilitzaran LDR (Light Dependent Resistors), les quals tenen una dependència de la resistència en funció de la llum exterior, en la imatge 12 es pot veure. Cal dir que no disposen de cap grau de protecció contra la pluja, així doncs, hauran de ser instal·lades

o bé dins l'habitatge just al costat de la finestra o a l'exterior amb una protecció de plàstic o similar que sigui totalment transparent, perquè rebin la llum correctament.



Imatge 13: LDR (font: www.ondaradio.es)



Imatge 12: Dependència de la resistència respecte la llum en una LDR (font: Referència [2])

6.2.4. Contactors

Com a contactors s'instal·laran relés. Els elements de la instal·lació que necessiten relés són: Rentadora, Rentaplats, Assecadora, Motors de persianes i les Bombetes LED. Per tal de dimensionar els relés correctament s'ha elaborat un taula per veure la potència que acostuma a consumir cada aparell.

Aparell	Potència estimada (W)
Rentadora	1500 – 2200
Rentaplats	1500 – 2200
Assecadora	2650-2850
Motor de persianes	205
Bombetes LED	8

Taula 3: Potència consumida en els actuadors (font: Elaboració pròpia)

Com es pot veure les potències estimades difereixen molt entre els electrodomèstics i les persianes o les bombetes, per tant, s'elegiran dos tipus de relés diferents.

Per als **electrodomèstics** s'utilitzarà el Relé de la marca Finder segons el model 40.31.7.024.0000. Hi ha diferents configuracions de bobina segons la tensió nominal

d'alimentació, s'ha elegit la tensió nominal de 5V per poder aprofitar la font d'alimentació de la placa.

Les seves característiques principals segons el bobina i el contacte són:

- Bobina
 - Tensió nominal: 5V DC
 - Corrent segons tensió nominal: 130mA
 - Resistència: 38Ω
- Contacte
 - Tensió nominal: 250V AC
 - Corrent nominal: 12A
 - Cicle de vida: $10 \cdot 10^6$ cicles



Imatge 14: Relé Finder (font: www.findernet.com)

Per a les **persianes i bombetes** s'utilitzarà el relé de la marca Finder segons la sèrie 32 de baixa potència. Igual que els anteriors, aquests tenen diferents configuracions de bobines i s'ha elegit la de tensió nominal 5V.

Les seves característiques principals de bobina i contacte són:

- Bobina
 - Tensió nominal: 5V DC
 - Corrent segons tensió nominal: 40mA
 - Resistència: 125Ω
- Contacte
 - Tensió nominal: 250V AC
 - Corrent nominal: 6A
 - Cicle de vida: $10 \cdot 10^6$ cicles



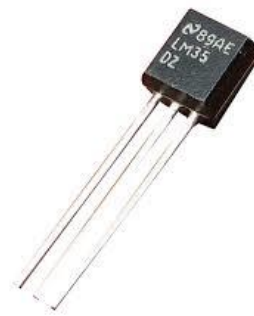
Imatge 15: Relé Finder (font: www.findernet.com)

6.2.5. Sensor de temperatura

Per mesurar la temperatura s'utilitzarà el sensor LM35DZ del proveïdor Texas Instruments. Es tracta d'un sensor analògic molt utilitzat per a aplicacions amb microcontrolador a causa de la seva linealitat així com la seva fàcil instal·lació i programació.

Les seves característiques més importants són:

- Rang: -55°C fins 150°C
- Factor d'escala: 10mV/°C
- Precisió: 0,5°C
- Tensió de funcionament: 4V fins 30V
- Corrent absorbit: 60µA



Imatge 16: Sensor de temperatura LM35
(font: ondaradio.es)

6.2.6. Sensor de finestres obertes

Per detectar si les fines estan obertes, s'utilitzaran sensors de proximitat del tipus magnètic, en concret el model GLS-1 de la marca OMRON. El principi de funcionament del sensor és la modificació d'estat d'un interruptor magnètic, la seva configuració és normalment obert (NO) en absència de camp magnètic, un cop se li apliqui un camp magnètic el contacte es tancarà. Està format per dues peces, la principal conté l'interruptor magnètic i s'instal·larà en el marc de la finestra, mentre que la secundària és un imant que s'instal·larà en la finestra, per tant quan la finestra estigui oberta l'interruptor magnètic estarà obert mentre que quan estigui tancada l'interruptor estarà tancat. Les seves característiques principals són:

- Tensió màxima de treball: 100V DC.
- No admet corrent altern
- Distància de sensibilitat: 15mm
- Cicle de vida: 50.000.000 contactes
- Grau de protecció: IP40



Imatge 17: Sensor d'interruptor magnètic
(font: www.omron.es)

6.2.7. Radiadors elèctrics

A l'hora d'elegir els radiadors elèctrics que s'han de dimensionar correctament. Per norma general es diu que són necessaris un mínim de 80W de potència per escalfar 1m², a aquest factor s'ha de sumar un 30% per assegurar el confort adequat amb la calor generada pel radiador elèctric. Per tant, la potència que es necessita instal·lar en cada habitació vindrà donada per la següent expressió:

$$P_{cal} = 80 \cdot S_{hab.} \cdot 1,3 \quad (1)$$

On la potència es donarà en Watts i la superfície en m². Seguidament es mostra una taula amb la superfície de cada habitació on anirà un radiador, així com la potència mínima de radiador elèctric que s'hi haurà d'instal·lar:

Habitació	Superfície (m ²)	Potència (W)
Menjador i sala d'estar	22,32	2.320
Cuina	28,08	2.920
Lavabo 1	11,86	1.230
Lavabo 2	9,72	1.010
Dormitori 1	17,55	1.830
Dormitori 2	15,12	1.570
Dormitori 3	15,12	1.570
Despatx	16,38	1.700

Taula 4: Potència necessària dels radiadors elèctrics segons la superfície (font: Elaboració pròpia)

Els radiadors elèctrics elegits són la sèrie Z de Facula, els quals tenen una potència de 1800W.



Imatge 18: Radiador elèctric Facula (font: www.facula.es/catálogo.pdf)

Com que és molt difícil trobar al mercat radiadors de més de 1800W de potència per ser instal·lats a l'habitatge, a les habitacions més grans se n'instal·laran dos de 1800W, a més serà millor per ajudar a repartir l'escalfor equitativament a tota l'habitació.

Als dos lavabos, els tres dormitoris i el despatx amb un radiador n'hi haurà prou, mentre que al menjador i la cuina se n'instal·laran dos. Tot i que en alguna habitació la potència està una mica sobredimensionada com que es dissenyarà un control de potència, aquests mai funcionaran a plena potència.

6.2.8. Sensors de presència

Per als sensors de presència s'utilitzarà el model ARGUS MTN578469 del proveïdor Schneider. Es tracta d'un sensor elegant, perfecte per muntar en sostres i parets, el qual té un rang de visió de 180°. El seu funcionament normal és per commutar llums en cas que detecti presència o no, però amb una modificació de l'electrònica de sortida es pot configurar perquè doni un '1' o un '0' lògics al microcontrolador.



Imatge 19: Sensor de presència Schneider (font: Referència [3])

Les seves característiques principals son:

- Tensió nominal: 230VAC
- Corrent de sortida: 16A
- Ajustaments: sensibilitat lluminosa i temps d'espera
- Temps d'espera: 1s...8min.
- Rang de detecció: 12m frontal i lateral
- Altura de muntatge: 2,5m

6.2.9. Rellotge de temps real

El rellotge de temps real és necessari per a mantenir tota la instal·lació domòtica al dia i a l'hora exactes, permetent controlar l'hora exacta d'encesa dels electrodomèstics així com saber a quina hora es capta i s'envia tota la informació a l'ordinador en la comunicació serial.

Aquest rellotge, com la majoria dels altres models, necessita un oscil·lador de cristall de quars de 32.768 kHz, aquesta freqüència d'oscil·lació significa que farà 2^{15} cicles en un segon que

és perfecte per als comptadors binaris, a més a més, és una freqüència suficientment alta perquè no sigui percebuda per l'oïda humana.

Un gran avantatge que en dóna el rellotge és que incorpora una pila com alimentació externa, per tant si hi ha un tall en l'alimentació del microcontrolador general, aquest es mantindrà en funcionament i per tant no perdrà la noció dels temps. En el moment que es torni a connectar la tensió d'alimentació de la placa deixarà d'alimentar-se de la pila.

El model elegit és el X1205 del fabricant Xicor, les seves característiques més importants són:

- Temps: Hora, Minut i Segon
- Data: Dia de la setmana, Dia, Mes i Any
- 2 alarmes programables
- Interfície I2C
- Connexió a bateria externa

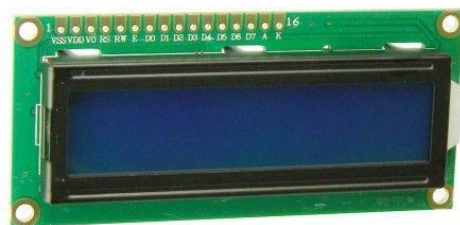
6.2.10. Pantalla LCD

La pantalla LCD forma part de la interfície microcontrolador-humà i és l'encarregada de transmetre tota la informació visual.

El seu acrònim en anglès (Liquid Crystal Display) ens indica el seu principi de funcionament, a grans pinzellades, està formada per cristalls líquids que tenen la propietat de deixar passar o no la llum a través seu en modificar-ne la polarització, per tant si afegim una il·luminació a la part inferior els cristalls que no deixen passar la llum es veuran de color negre mentre que tot el fons es veurà il·luminat.

La pantalla LCD que s'ha elegit pel disseny és el model 1602A, les seves característiques més importants són:

- Nombre de caràcters: 16 caràcters x 2 línies
- Punts per caràcter: 5 x 8 punts
- Dimensions de la pantalla(mm): 64,5 x 14,5
- Connexió: 16 pins
- Tensió d'alimentació: 5V



Imatge 20: Pantalla LCD 16X2 (font: www.ondaradio.es)

Juntament amb el display s'utilitzarà el mòdul per a controlar-lo mitjançant el protocol I2C, el que ens simplifica molt la connexió, passant de tenir 16 cables a només 4, essent dos pel busI2C i dos més per l'alimentació.

Aquest mòdul incorpora un circuit integrat que s'anomena PCF8574, la seva funció és convertir les dades de sèrie a paral·lel, ja que té 8 bits de sortida, essent els necessaris per a controlar la pantalla LCD amb una configuració adequada.

6.3. Recompte general de sensor, actuadors i interfícies

A continuació es procedeix a fer una taula per veure el nombre total que sensors, actuadors i interfícies que seran instal·lats així com les entrades/sortides de microcontrolador que es necessitaran per tal de dissenyar el hardware adequadament.

Descripció	Nomenclatura	Entrades/Sortides	Quantitat		
			Planta inferior	Planta superior	Total
Sensor finestra oberta	S.F.O.	1 entrada digital	5	6	11
Motor persiana	P.	(x2) sortida digital ⁽¹⁾	4	6	10
Sensor de presència	S.P.	1 entrada digital	5	6	11
Electrodomèstics	E.D.	1 sortida digital	3	-	3
Sensor temperatura	T.	1 entrada analògica	3	5	8
Control radiador	R.	1 entrada digital 1 sortida digital	3	5	8
Llums	L.	1 sortida digital	5	6	11
Sensor llum exterior	S.L.E.	1 entrada digital	-	3	3
Comunicació ordinador	C.O.	2 sortides digitals (RS232)	1	-	1
Pantalla cristall líquid	LCD	2 sortides digitals (I2C) ⁽²⁾	1	-	1

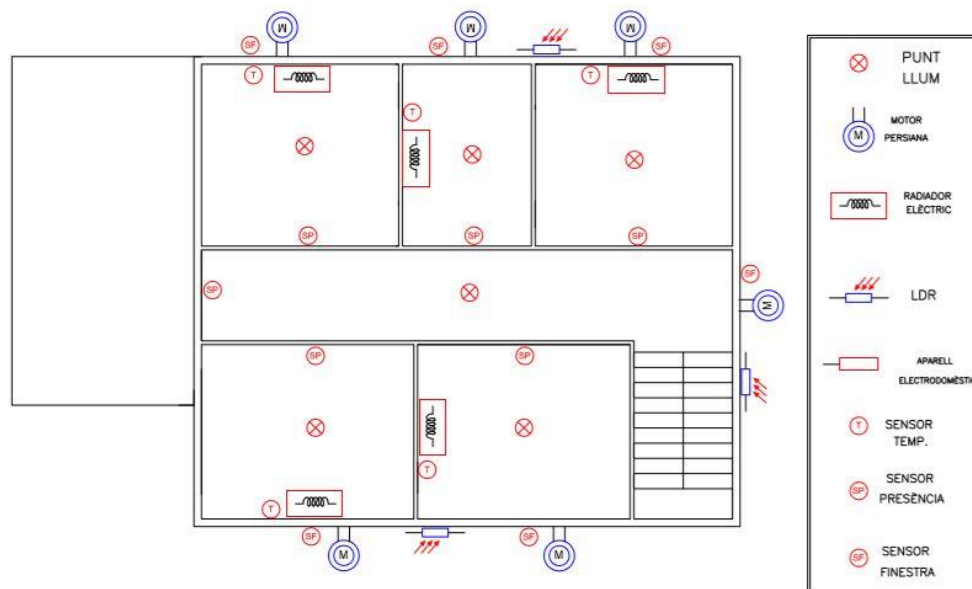
Teclat matricial	T.M.	8 entrades/sortides digitals	1	-	1
Relloctge de temps real	R.T.C.	2 sortides digitals (I2C) ⁽²⁾	1	-	1
Total entrades/sortides			47	48	95

Taula 5: Recompte de sensors, actuadors i interfícies (font: Elaboració pròpia)

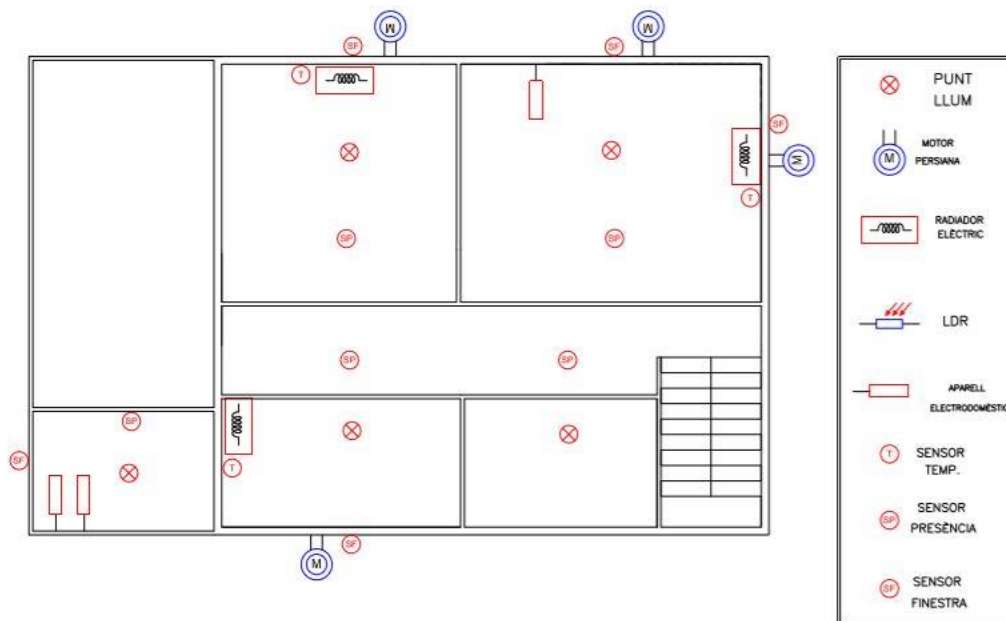
(1): Es consideren dues sortides per la funció de pujada i la funció de baixada

(2): Tots els elements que funcionen amb I2C comparteixen els pins del microcontrolador.

Seguidament es podrà veure la seva col·locació en el habitatge:



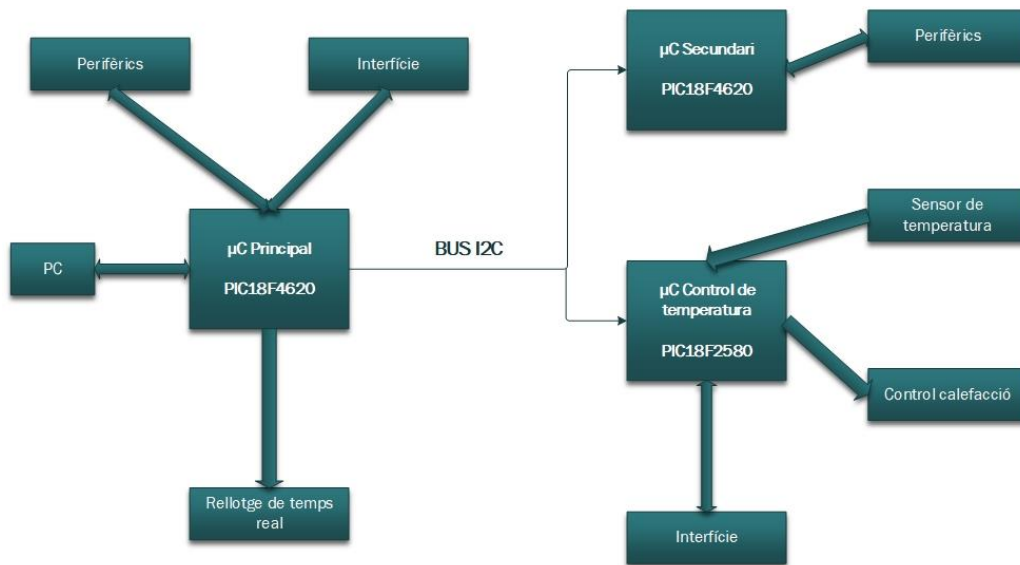
Imatge 21: Distribució d'elements en la planta superior(font: Elaboració pròpia)



Imatge 22: Distribució d'elements en la planta superior (font: Elaboració pròpia)

7. Disseny del prototip de venda

7.1. Diagrama de blocs del sistema



Imatge 23: Diagrama de blocs del sistema domòtic (font: Elaboració pròpia)

Segons la distribució es pot dir que el sistema és de topologia mixta, ja que hi han diversos microcontroladors connectats entre ells mitjançant busos de dades, i cada un maneja una certa quantitat d'actuadors i sensors, així com interfícies.

Primer veiem el microcontrolador principal que maneja la interfície amb l'usuari, la comunicació amb l'ordinador personal i una part dels perifèrics de l'habitatge. Endemés, és el mestre en la comunicació I2C i encarregat de donar ordres a tots els microcontroladors secundaris sempre que sigui necessari.

El microcontrolador secundari s'ha afegit pel gran nombre de perifèrics a controlar. Tindrà el seu propi *software*, i el microcontrolador principal només hi intervindrà quan rebi ordres per part de l'usuari amb la interfície. En particular, aquestes ordres seran el control manual d'actuadors.

Finalment, els microcontroladors secundaris tenen la funció d'aportar un control descentralitzat de la calefacció de cada habitació, per això, disposaran d'una interfície d'usuari cada un formada per pantalla LCD i teclat matricial com el principal. Per altra banda, se'ls hi connectarà els perifèrics que intervenen en el control de la calefacció de cada habitació que són el sensor de finestra oberta, el sensor de temperatura i el regulador de potència de la calefacció.

7.2. Microcontrolador

El primer a l'hora de dissenyar el hardware del prototip de venda ha sigut elegir un microcontrolador que fos capaç de controlar i realitzar totes les necessitats del sistema domòtic, ja que dins de la família PIC hi ha un gran ventall de possibilitats.

- **PIC18F4620:** es tracta d'un microcontrolador del fabricant Microchip que pertany a la família PIC18F. Són ideals per a controlar gran nombre de perifèrics amb diferents mètodes de comunicació i control; I2C, PWM, analògic, digital, etc. A l'hora d'elegir-lo es va tenir en compte la seva gran memòria de programa, així com un gran nombre d'entrades/sortides i la possibilitat de generar senyals PWM i connexió amb RS232.

En la instal·lació domòtica n'hi haurà dos, un tindrà la funció de microcontrolador principal i controlarà una part dels perifèrics així com la interfície amb l'usuari formada per la pantalla LCD i el teclat matricial, també serà l'encarregat de comunicar-se amb l'ordinador per mitjà del bus de dades RS232. L'altre del mateix tipus serà el microcontrolador secundari, i s'encarregarà de controlar la resta de perifèrics. Tindrà la funció d'esclau dins la xarxa de comunicació I2C.

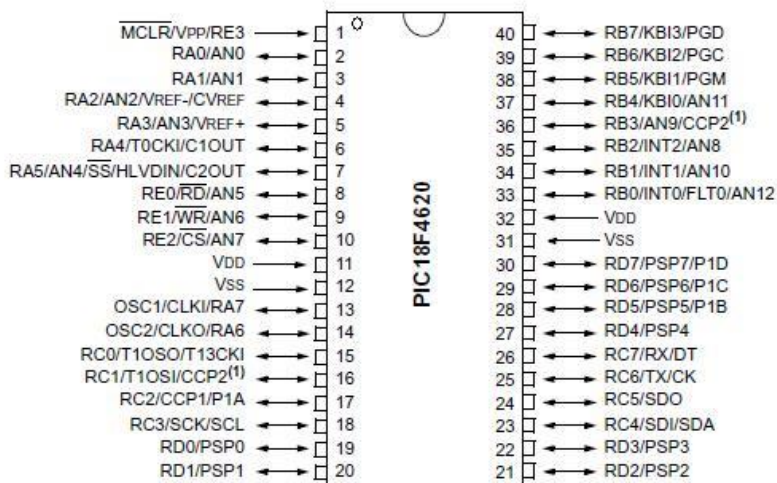
A continuació es mostraran les seves característiques més importants:

Nom	Valor
Tipus de memòria de programa	Flash

Espai de memòria de programa (KB)	64
Velocitat de CPU (MIPS/DMIPS)	10
SRAM Bytes	3.968
Data EEPROM/HEF (Bytes)	1.024
Perifèrics de comunicació digital	1-UART, 1-SPI, 1-I2C, 1-MSSP
Capture/Compare/PWM perifèrics	1CCP, 1ECCP
Comptadors/Timers	1 x 8-bit, 3 x 16-bit
Entrades ADC	13 canals, 10-bit
Nombre de comparadors	2
Rang de temperatura(°C)	-40 fins 125
Rang de tensió de funcionament (V)	2 fins 5.5
Nombre de pins	40
Encapsulat	DIP 40

Taula 6: Característiques del PIC18F4620 (font: www.microchip.com)

El seu diagrama de pins es mostra a continuació:



Imatge 24: Diagrama de pins del PIC18F4620 (font: www.microchip.com)

- **PIC18F2580:** Igual que l'anterior pertany a la família PIC18F del fabricant Microchip, comparteixen la majoria de funcions que l'anterior però amb un nombre menor d'entrades/sortides i la meitat de memòria de programa.

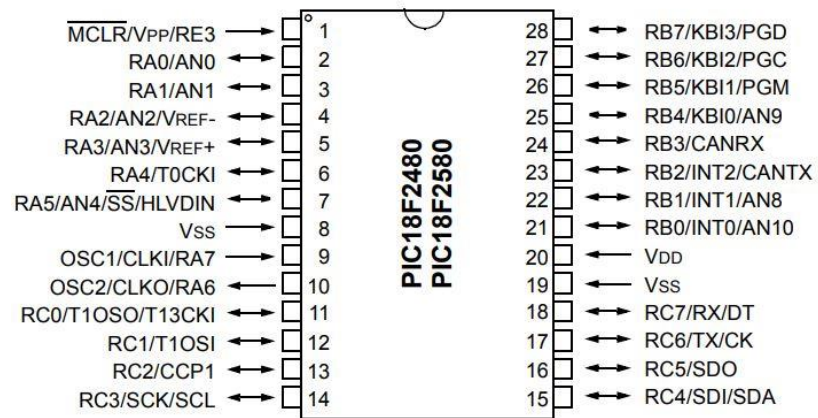
En la instal·lació domòtica s'encarregaran de portar un control descentralitzat del sistema de calefacció, ja que se n'instal·larà un per cada habitació que disposi de calefacció. Com que només s'encarregarà d'aquesta funció serà molt eficient. Dins de la xarxa I2C tindran la funció d'esclaus.

Les seves característiques principals són:

Nom	Valor
Tipus de memòria de programa	Flash
Espai de memòria de programa (KB)	32
Velocitat de CPU (MIPS/DMIPS)	10
SRAM Bytes	1.536
Data EEPROM/HEF (Bytes)	256
Perifèrics de comunicació digital	1-UART, 1-SPI, 1-I2C, 1-MSSP
Capture/Compare/PWM perifèrics	1CCP
Comptadors/Timers	1 x 8-bit, 3 x 16-bit
Entrades ADC	8 canals, 10-bit
Nombre de mòduls CAN	1
Rang de temperatura(°C)	-40 fins 125
Rang de tensió de funcionament (V)	2 fins 5.5
Nombre de pins	28
Encapsulat	DIP 28

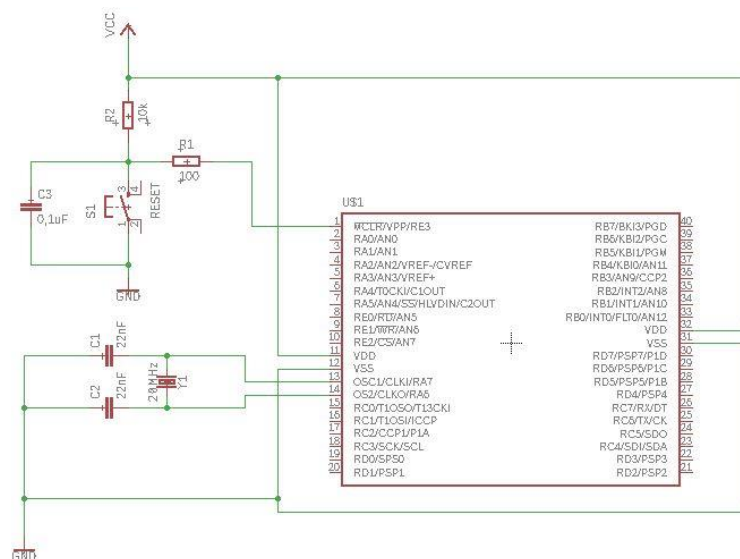
Taula 7: Característiques del PIC18F2580 (font: www.microchip.com)

El seu diagrama de pins es mostra a continuació:



Imatge 25: Diagrama de pins del PIC18F2580 (font: www.microchip.com)

7.2.1. Circuit bàsic per al funcionament dels microcontroladors



Imatge 26: Esquema bàsic per al funcionament del microcontrolador (font: Elaboració pròpia)

Com es pot veure el pin MCLR (*MasterClear*) està connectat a Vcc normalment, quan el polsador *Reset* sigui premut el dispositiu tornarà al seu estat inicial, és a dir, el comptador de programa tornarà a la primera instrucció i tots els registres retornaran al seu valor per defecte. R1 té la funció de limitar el corrent a l'entrada del microcontrolador, C3 té la funció d'evitar els rebots del polsador, i finalment R2 té la funció d'evitar que el petit corrent en el condensador entri al microcontrolador. No s'han d'oblidar els dos condensadors C1 i C2 connectats al costat del oscil·lador tal com marca el *datasheet* del microcontrolador, cal remarcar que el conjunt oscil·lador i condensadors ha d'estar el més a prop possible del microcontrolador, per evitar capacitats paràsites de les pistes de coure.

En tots els microcontroladors emprats per al disseny necessitaran aquest circuit bàsic, ja que pertanyen a la mateixa família.

7.2.2. Oscil·lador

Pel disseny he seleccionat un oscil·lador extern de cristall de quars de 20MHz, tot i que el mateix microcontrolador incorpora un oscil·lador intern aquest pot donar una freqüència màxima de 8MHz, per això s'ha utilitzat l'extern, que n'augmentarà la velocitat de treball.

Per a tots els microcontroladors emprats per al disseny s'implementarà la mateixa freqüència, això és important perquè el sistema sigui totalment síncron i la seva comunicació funcioni correctament.

En general cada 4 oscil·lacions es compleix un cicle màquina, el que es refereix el temps de completar una instrucció del programa, per tant amb una freqüència de 20MHz s'executarà una instrucció cada 0,2µs, o el que és el mateix cada segon s'executaran unes $5 \cdot 10^6$ instruccions. Això no és del tot cert, ja que hi ha instruccions que tarden el doble o el triple de temps si modifiquen el comptador de programa, però a efectes de càlcul es pot ignorar, ja que són mínimes.

$$f_{inst} = \frac{f_{osc}}{4} = \frac{20 \cdot 10^6 \text{ Hz}}{4} = 5 \cdot 10^6 \text{ Hz} \quad (2)$$

$$T_{inst} = \frac{1}{f_{inst}} = 0,2 \text{ } \mu\text{s} \quad (3)$$



Imatge 27: Oscil·lador amb cristall de quars (font: www.ondaradio.es)

7.2.3. Programador

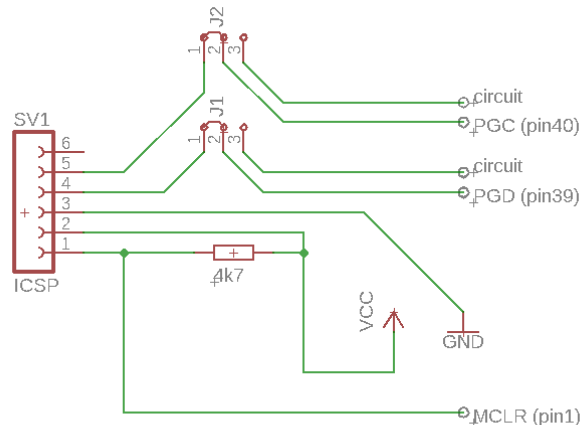
El programador és necessari per a enviar el programa al microcontrolador i escriure'l en la memòria de programa. El programador que he elegit és el Pickit3, el fabricant del qual és Microchip i està expressament dissenyat per treballar amb PICs i incorpora una funció anomenada ICSP (In Circuit Serial Programming) que ens permet programar el microcontrolador sense necessitat d'extreure'l de la placa de circuit on estigui instal·lat, a més proveeix de funcions addicionals per emular i depurar en circuit, les quals són molt interessants per a provar si el *software* funciona correctament, un cop tenim tot el circuit muntat.



*Imatge 28: Programador Pickit 3
(font: www.microchip.com)*

És important fixar-nos amb la fletxa de la part inferior del dispositiu, ja que ens indica quin és el pin 1 de les sortides i per tant el MCLR.

Per a la connexió en circuit del programador serà necessari el següent circuit:



Imatge 29: Esquema elèctric per a connectar el programador (font: Elaboració pròpia)

El connector SV1 es tracta d'un connector de 6 pins mascle, que s'adaptarà al programador, per altra banda, tenim que el primer pin es connecta al pin 1 del microcontrolador, el 2 i el 3 es connecten a Vcc i GND respectivament, es pot aprofitar la mateixa alimentació que la placa. Finalment els pins 4 i 5 s'utilitzen per a programar el dispositiu i es connecten els pins 39 i 40 del

PIC, hi he afegit els *jumpers* J1 i J2 per tal de desconnectar els elements que utilitzen aquests dos pins quan s'ha de programar el PIC, ja que segons el *datasheet* del proveïdor és important que no hi hagi res connectat a l'hora de programar. La resistència de 4k7 connectada entre Vcc i MCLR s'hi ha de col·locar obligatòriament segons el *datasheet* també.

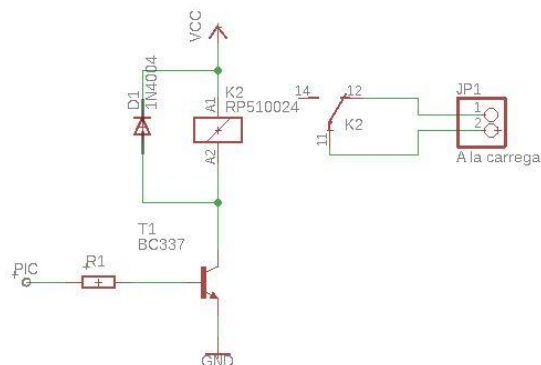
El pin 6 no és necessari connectar-lo per a la programació en circuit.

Aquest circuit no serà necessari en cas que no s'utilitzi el mètode ISCP per a la programació del microcontrolador. Si no s'han de fer proves en el software, és més còmode extreure el microcontrolador i programar-lo en un programador extern i després tornar-lo a col·locar a la placa.

7.3. Perifèrics

7.3.1. Circuit de control de les sortides digitals:

Com s'ha explicat en el Capítol 6 per al control de les sortides digitals; bombetes, persianes i l'activació dels electrodomèstics s'utilitzaran relés. El circuit de connexió amb el PIC es mostra a continuació:



Imatge 30: Esquema elèctric de les sortides digitals (font: Elaboració pròpia)

Per al disseny del circuit i elecció s'han de tenir en compte una sèrie d'aspectes:

- El transistor ha de ser capaç de poder donar un corrent de col·lector (I_c) suficient per al consum de la bobina del relé. La bobina del relé més potent consumeix aproximadament 130mA i el transistor seleccionat BC337 dona fins a 800mA al col·lector.
- No s'ha d'oblidar posar el díode en contra-paral·lel a la bobina, ja que al obrir el circuit es produeixen pics de corrent que podrien malmetre els altres components, per això el díode canalitza els pics de corrent i es descarreguen en la mateixa resistència de la bobina.
- Finalment s'ha d'elegir una resistència de base (R_b) per assegurar-nos que el transistor treballi en saturació i no en zona activa quan condueixi, endemés s'ha de minimitzar a la mesura del possible el corrent que proporcioni el PIC, per tal de no sobrecarregar-lo. A continuació es mostren els càlculs.

Dades del transistor segons el *datasheet*: $h_{FE} = 200$; $V_{CE(SAT)} = 0,7V$

Consum de corrent del relé gran: 130mA

Resistència de la bobina del relé gran: 38Ω

Consum de corrent del relé petit: 40mA

Resistència de la bobina del relé petit: 125Ω

L'equació 4 mostra la condició que s'ha de complir per dir que el transistor es troba en saturació.

$$I_c < I_b \cdot \beta \quad (4)$$

Per a calcular el corrent de col·lector del transistor pel relé de més potència s'aplica la següent equació:

$$I_{C|sat} = \frac{V_{CC} - V_{CE|sat}}{R_{relé}} = \frac{5 - 0,2}{38} = 126,3mA \quad (5)$$

El corrent de base ha de ser el més petit possible per tal que el microcontrolador treballi sense ser forçat, per tant el corrent de base més petit possible és:

$$I_B = \frac{I_{C|sat}}{\beta} = \frac{126,3mA}{200} = 631,5\mu A \quad (6)$$

Aquest corrent el multiplicarem per dos com a marge de seguretat i per assegurar que el transistor satura correctament, per tant la el corrent de base tindrà un valor de **1,26mA**.

Per a la malla de base s'aplica la següent equació:

$$I_b = \frac{V_{pin} - V_{BE(SAT)}}{R_b} \quad (7)$$

Si s'aïlla la resistència i es calcula surt un valor de:

$$R_b = \frac{5 - 0,8}{1,26 \cdot 10^{-3}} = 3,33k\Omega \quad (8)$$

Per tant s'elegirà un resistor de valor estandarditzat de 3,3 kΩ (Sèrie E-24) de 0,25W.

Seguidament es realitza el mateix càlcul pel relé de menys potència.

$$I_{C|sat} = \frac{V_{CC} - V_{CE|sat}}{R_{relé}} = \frac{5 - 0,2}{125} = 38,4mA \quad (9)$$

$$I_B = \frac{I_{C|sat}}{\beta} = \frac{38,4mA}{200} = 192\mu A \quad (10)$$

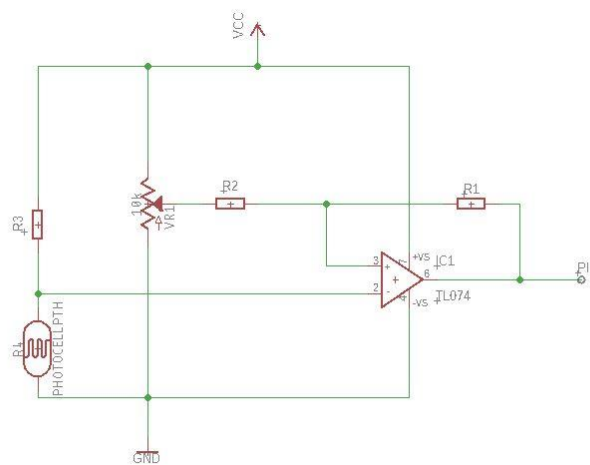
El corrent de base del transistor haurà de tenir un valor de **384μA**.

$$R_b = \frac{5 - 0,8}{192 \cdot 10^{-6}} = 21,87k\Omega \quad (11)$$

Per tant s'elegirà un resistor de valor estandarditzat de 22 kΩ (Sèrie E-24) de 0,25W.

7.3.2. Circuit per als sensors de llum

Com s'ha dit en el Capítol 6 les LDR aniran acompanyades de un *hardware* addicional que transformarà la seva sortida analògica en digital, a més serà ajustable el llindar de commutació. A continuació es mostra el circuit:



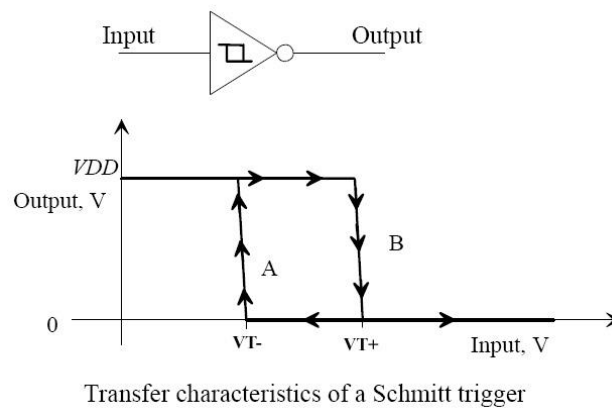
Imatge 31: Esquema elèctric per als sensor de llum (font: Elaboració pròpia)

El principi de funcionament del circuit es basa en un "Schmitt Trigger" utilitzant un amplificador operacional en configuració inversora. Quan un amplificador operacional es connecta sense realimentació negativa el seu guany és molt alt, de fet, idealment és infinit, però realment un valor aproximat de $A = 100.000$. A més a més, la seva tensió de sortida en funció de la tensió a les seves entrades no inversora (V_+) i la inversora (V_-) ve donada per la següent expressió:

$$V_o = A \cdot (V_+ - V_-) \quad (12)$$

Tenint en compte que el guany és tant elevat una mínima variació en les seves tensions de entrada produeix que la tensió de sortida tendeixi a la tensió de alimentació, moment en que es diu que l'amplificador treballa en saturació. En aquest circuit la tensió d'alimentació positiva (+V_s) està connectada a 5V i la tensió d'alimentació negativa (-V_s) a 0V, o el que es el mateix, a GND. Per tant aquest seran els nivells de saturació de la sortida.

Una característica important d'aquest circuit és que te una zona de histèresis al estar realimentat positivament. Això es fa perquè la llum que capta la LDR és una variable continua i els moments de commutar la llum pot tenir petites variacions tant positives com negatives, possiblement causades per núvols, això provocaria que hi haguessin moltes commutacions seguides i sense sentit. Seguidament es mostra el cicle de histèresis perquè es pugui entendre ve el comportament del comparador.



Imatge 32: Cicle d'histèresi en un "Schmitt trigger" (font: Referència [4])

Tenint en compte que la tensió a l'entrada és la que prové del divisor de tensió entre R3 i R_{LDR} tindrem que en el moment que sigui menor a VT- la sortida passarà de nivell baix a nivell alt, mentre que quan sigui major a VT+ passarà de nivell alt a nivell baix. Les equacions que defineixen els nivells de commutació són:

$$VT_{+} = \frac{V_{REF} \cdot R_1 + +V_s \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (13)$$

$$VT_{-} = \frac{V_{REF} \cdot R_1}{R_1 \cdot R_2} \quad (14)$$

Per altra banda tenim la tensió mitja, on està centrat el cicle de histèresis que ve donada per la següents expressió:

$$V_M = \frac{VT_+ + VT_-}{2} = \frac{2 \cdot V_{REF} \cdot R_1 + V_{SAT} \cdot R_2}{2 \cdot (R_1 + R_2)} \quad (15)$$

Finalment la tensió d'entrada ve donada per l'expressió del divisor de tensió entre R_3 i R_{LDR} :

$$V_i = V_{CC} \cdot \frac{R_{LDR}}{R_3 + R_{LDR}} \quad (16)$$

Experimentalment s'ha testejat la LDR amb un multímetre i s'han mesurat els seus valors de resistència en la claror i en la foscor.

$$R_{LLUM} = 5,6k\Omega \quad R_{FOSCOR} = 270k\Omega$$

Per tant si es dona a R_3 un valor de $75k\Omega$ (Sèrie-E24/0,25W) es tenen unes tensions a l'entrada del "Schmitt Trigger" que van entre: $V_{LLUM} = 4,65V$ i $V_{FOSCOR} = 1,08V$

Seguidament s'ha de centrar el cicle d'hístèresis el màxim possible al rang de tensions que en pot donar l'entrada, per fer-ho s'utilitzarà l'equació nº 13 i es donarà a V_M un valor de $2,5V$ a V_{REF} un valor de $2,5V$ també, R_1 se li dona un valor arbitrari de $1k\Omega$ (Sèrie E-24/0,25W) i es calcula el valor de R_2 . $R_2 = 1k\Omega$

Finalment es comprova que els nivells de commutació VT_+ i VT_- estiguin dins el rang de la tensió d'entrada segons els resistors elegits, aplicant les equacions nº 11 i nº12.

$$VT_+ = 3,75V \quad VT_- = 1,25V$$

Com es pot veure, sí que estan dins el rang de tensió d'entrada tot i que VT_- és molt pròxim a V_{FOSCOR} . En cas que el circuit no funcione correctament un cop muntat en placa es pot ajustar el potenciòmetre per desplaçar una mica cap a la dreta el cicle d'hístèresis. Com es pot veure en l'equació nº13 el centre del cicle d'hístèresis depèn de V_{REF} , la qual cosa dona molta llibertat per modificar-ne el comportament un cop estigui muntat en placa, ja que a l'hora de fer els càlculs s'ha ajustat a $2,5V$, dit d'una altra manera, al centre del recorregut del potenciòmetre.

7.3.3. Circuit per als sensors de temperatura

Com s'ha especificat en el capítol 6, els sensors de temperatura seran LM35DZ. El *datasheet* del fabricant ens proporciona les següents dades més importants:

Precisió = $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ Guany del sensor = $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

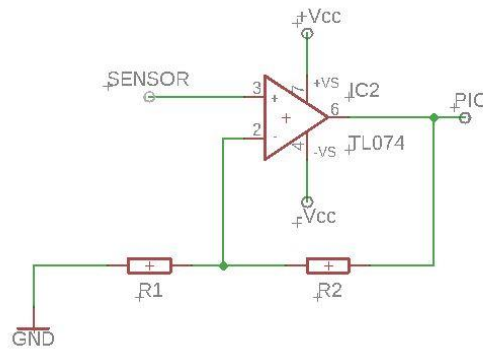
Realitzant un simple càlcul podem obtenir que per detectar la variació de temperatura quedóna la precisió hem de ser capaços de llegir variacions mínimes de 5mV en el ADC del microcontrolador. Com s'ha indicat més amunt la resolució del ADC de PIC és de 10 bits i ve donada per la següent equació:

$$\text{Resolució} = \frac{V_{fe}}{2^n - 1} \quad (17)$$

On V_{fe} es tracta de la tensió de fons d'escala, en aquest cas 5V, i 'n' és el nombre de bits del ADC, per tant:

$$\text{Resolució} = \frac{5}{2^{10} - 1} = 4,88\text{mV} \quad (18)$$

Efectivament la resolució del ADC seria l'adequada per a detectar el mínims canvis de temperatura que percep el sensor, ara be, al tractar-se de una senyal analògica si ha de recórrer grans distàncies es fàcil que es degradi i la mesura de la temperatura es falseja, per s'hauria de dissenyar una etapa amplificadora, amb un guany de 10 seria perfecte per facilitar la lectura del microcontrolador.



Imatge 33: Esquema elèctric de etapa amplificadora (font: Elaboració pròpia)

Aquesta és una etapa amplificadora amb amplificador operacional en configuració no inversora. A efectes de càlcul la tensió provinent del sensor l'anomenarem V_i i la tensió que va cap al PIC l'anomenarem V_o .

Quan un amplificador operacional està configurat en realimentació negativa es considera que les seves entrades V_+ i V_- tenen el mateix valor. Aplicant aquest principi i el de divisor de tensió entre R1 i R2, obtenim aquesta equació:

$$V_i = V_o \cdot \frac{R1}{(R1 + R2)} \quad (19)$$

Per tant, el seu guany be donat per la expressió:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = \frac{(R1 + R2)}{R1} = 1 + \frac{R2}{R1} \quad (20)$$

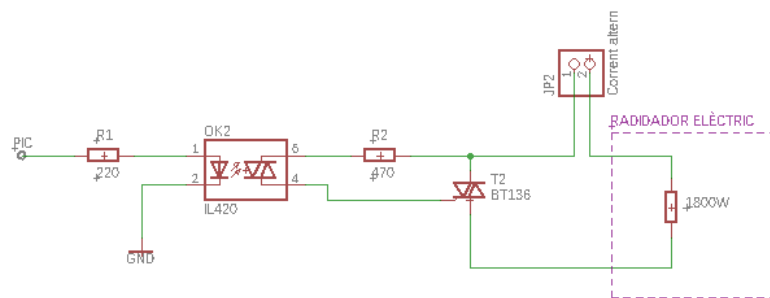
Si imposem **R1 = 10kΩ** (Sèrie E-24/0,25W) i aïllem R2 per tenir un guany de 10:

$$R2 = R1 \cdot (A - 1) = 90k\Omega \quad (21)$$

Per tant amb **R2 = 90kΩ** (Sèrie E-24/0,25W) tindrem un guany exacte de 10.

7.3.4. Circuit per controlar els radiadors elèctrics

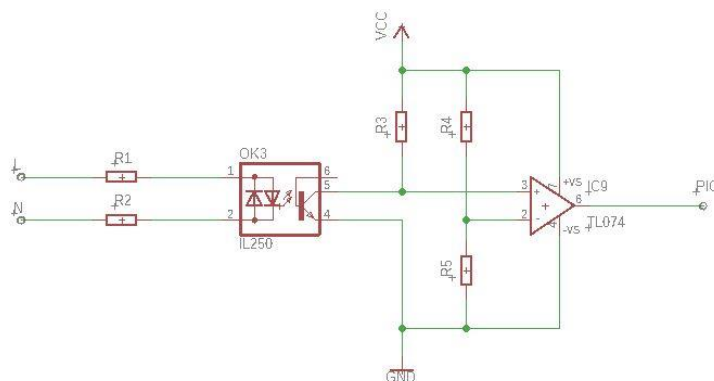
Per a controlar una càrrega de gran potència com són els radiadors elèctrics de 1800W des del microcontrolador el millor és emprar algun component capaç d'aïllar galvànicament el circuit de potència del de control, per altra banda, al tractar-se d'una càrrega de corrent altern s'utilitzarà un opto triac que dispararà un triac de potència, el circuit dissenyat té la següent forma:



Imatge 34: Esquema per al control dels radiadors (font: Elaboració pròpia)

Per altra banda, la regulació de potència s'efectuarà controlant l'angle d'encesa del triac en un semiperíode de la tensió de la xarxa elèctrica, essent 0% en els 0° i 100% en els 180°. El mateix angle d'encesa serà aplicat tant al semiperíode positiu com en el semiperíode negatiu.

Per fer-ho és necessari un dispositiu que ens digui el moment exacte en el qual la tensió de la xarxa elèctrica passa del semiperíode positiu al semiperíode negatiu, es tracta d'un detector de passos per zero, el seu muntatge és el següent:



Imatge 35: Detector de passos per zero (font: Elaboració pròpia)

Es tracta d'un optoacoblador IL250 del fabricant *Vishay* el qual pot conduir ambdues direccions en el principal, per tant, el transistor del secundari estarà sempre conduint tret que els dos LEDs estiguin apagats, moment en el qual hi haurà un pas per zero de la tensió de xarxa. Si això es combina amb una resistència de *pull-up* (R3) cada vegada que la tensió passi per zero el transistor entrarà en tall i la tensió a la sortida de l'optoacoblador tendirà a 5V.

Per tal d'evitar un estat d'indeterminació durant el petit temps que el transistor es troba en zona lineal, es col·loca un amplificador operacional a mode de comparador de manera que quan es superin els 4V aquest satura.

Els resistors R1 i R2 tenen la funció de limitar el corrent a l'entrada de l'optoacoblador i un valor de 47kΩ (Sèrie E-24/0,25W) seria adequat. Per altra banda la resistència R3 amb la funció de *pull-up* tindrà un valor de 10kΩ (Sèrie E-24/0,25W).

Els resistors R4 i R5 tenen la funció de marcar un divisor de tensió per aconseguir la tensió necessària per al comparador de tensió. Al ser necessaris 4V en l'entrada inversora (V₋) de l'amplificador operacional, els resistors s'agafaran de: R4 = 1kΩ (Sèrie E-24/0,25W) i R5 = 3,9kΩ (Sèrie E-24/0,25W). Si s'aplica l'equació del divisor de tensió:

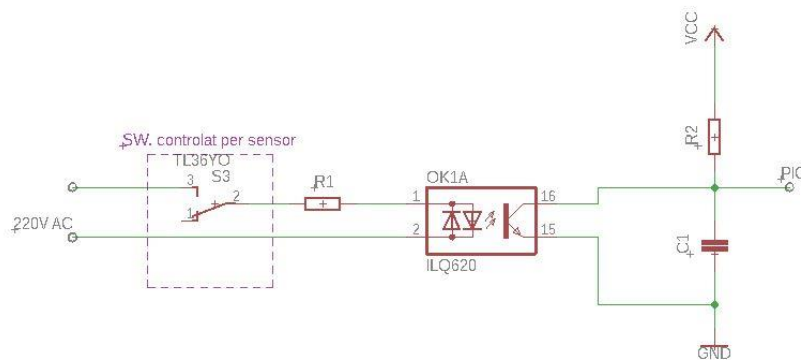
$$V_{-} = V_{CC} \cdot \frac{R5}{R5 + R4} = 5 \cdot \frac{3,9}{3,9 + 1} = 3,98V \quad (22)$$

Pràcticament el valor desitjat, per tant no seran necessaris resistors més precisos.

7.3.5. Circuit per al sensor de presència:

El funcionament del sensor de presència consisteix en el fet que quan detecta o deixa de detectar, segons la seva configuració, posa en marxa un temporitzador que quan arriba a 0 es commuta l'estat d'un interruptor. Generalment aquest interruptor està connectat a un llumper controlar-lo directament des del sensor, per això la tensió i corrent del contacte són 220V AC i 16A respectivament.

A causa de l'alta tensió del contacte no es pot connectar aquest contacte directament al microcontrolador, seguidament es mostra una forma de connexió que adapta la tensió del contacte amb la del microcontrolador.



Imatge 36: Esquema per als sensors de presència (font: Elaboració pròpia)

S'ha dissenyat un circuit amb optoacoblador per aïllar galvànicament el circuit d'alta tensió respecte del microcontrolador, com es pot veure el mateix optoacoblador incorpora un díode en antiparal·lel respecte de el LED que està rectificant la meitat de l'ona de corrent altern, a la vegada que està protegint el LED de corrent en sentit invers.

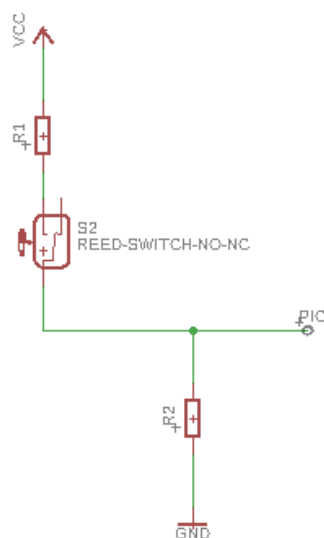
Pel que fa al resistor R1 s'ha d'elegir de tal manera que limiti el corrent pel LED, el *datasheet* del ILQ620 diu que el LED suporta un corrent màxim de 60 mA, però es limitarà a un 1mA, ja que sempre hi poden haver pics de tensió i és bo mantenir un marge de seguretat.

$$R_1 = \frac{V_{AC}}{I_C} = \frac{220}{1 \cdot 10^{-3}} = 220k\Omega (\text{Sèrie E} - 24 | 0,25W) \quad (23)$$

Per altra banda, el resistor R2 té la funció de limitar el corrent pel col·lector del transistor quan estigui en saturació, essent el seu valor màxim segons *datasheet* de 50mA. Es limitarà amb una resistència de 4,7kΩ (Sèrie E-24/0,25W) sortint un corrent de col·lector d'aproximadament 1mA.

Per altra banda el condensador C1 té la funció d'estabilitzar el senyal, al tenir un corrent altern de 50Hz rectificat a mitja ona l'optoacoblador saturarà cada 20ms quan SW estigui tancat. Per això un condensador de 1μF és suficient per estabilitzar aquest senyal de polsos.

7.3.6. Circuit per el sensor de finestres obertes



Imatge 37: Esquema per al sensor de finestra oberta (font: Elaboració pròpia)

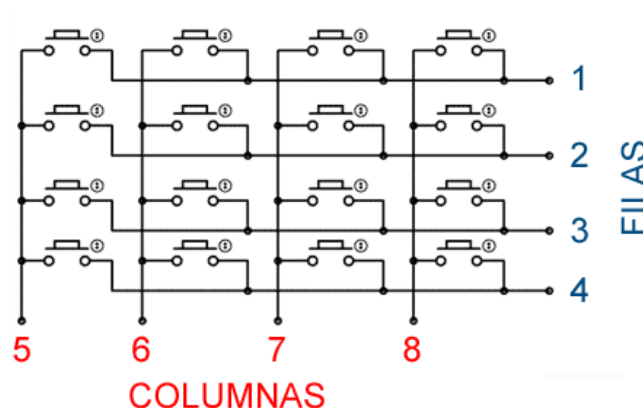
Com es pot veure el circuit és molt simple, ja que el sensor té la possibilitat de connectar-se a 5V i no s'haurà de dissenyar cap etapa per adaptar-ho a la tensió del microcontrolador. Només caldrà posar una resistència de *pull-down* (R2) per evitar que el microcontrolador entri en un estat d'indeterminació quan l'interruptor estigui obert. Per altra banda R1 és necessària per limitar el corrent que entri al microcontrolador quan l'interruptor estigui tancat.

A l'hora d'elegir els valor de les resistències s'ha de tenir en compte que R2 sigui molt més gran que R1 per evitar que es formi un divisor de tensió i el microcontrolador no captés el '1' lògic correctament, i R1 ha de ser suficient gran per no excedir el màxim corrent d'entrada del microcontrolador i malmetre'l. Uns valors correctes pels resistors serien:

R1 = 1kΩ(sèrie E-24/0,25W) R2 = 47kΩ(sèrie E-24/0,25W)

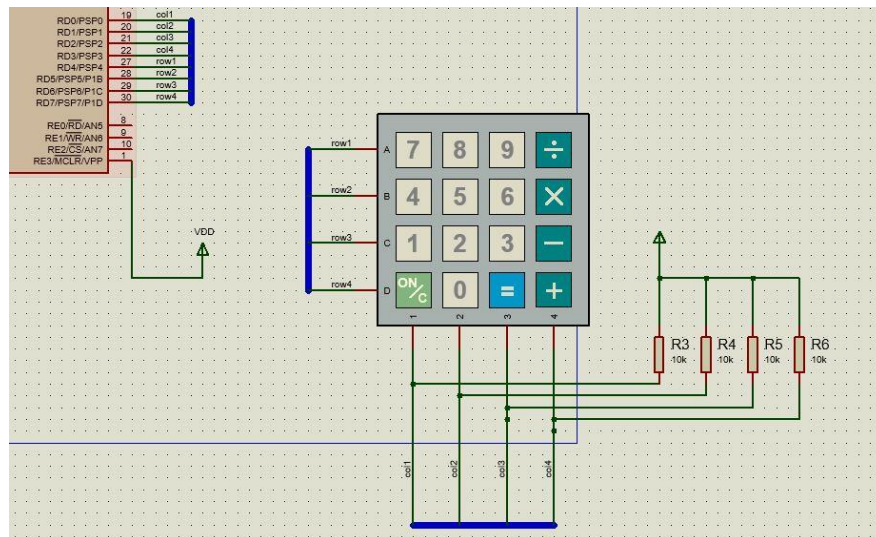
7.3.7. Circuit per al teclat matricial

Abans de dissenyar el circuit electrònic per el teclat matricial és convenient entendre el seu funcionament intern:



Imatge 38: Teclat matricial (font: Referència [6])

Com es pot veure està constituït per 16 pulsadors, cada un d'ells representa una tecla, en el moment en què es pitja qualsevol d'ells, es connecta la fila i la columna corresponents a la tecla pitjada. Una manera de llegir la tecla pitjada és connectar el teclat a un port i tractar els pins de les columnes com a lectura i els pins de les files com a escriptura, seguidament es fa un escombrat per *software* fins a esbrinar la tecla pitjada.

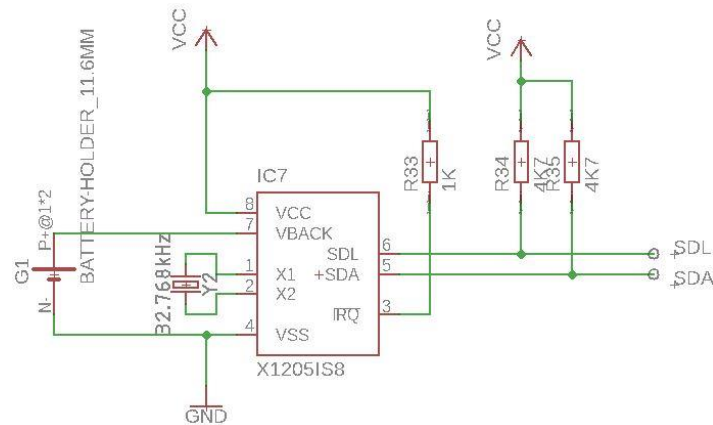


Imatge 39: Esquema per la connexió de un teclat matricial (font: Elaboració pròpia)

El circuit quedaria de la següent manera, només serien necessaris resistors de *pull-up* en els pins de les columnes per evitar estats d'indeterminació a l'entrada del microcontrolador. Pels *pull-up* resistors de 10kΩ (Sèrie E-24/0,25W) són adequats.

7.3.8. Circuit per al rellotge de temps real

Com s'ha comentat en el capítol anterior el rellotge de temps real necessita el seu propi oscil·lador, ja que té una freqüència característica que no utilitzen els microcontroladors. També és necessari afegir una pila de rellotge per a la seva alimentació auxiliar.



Imatge 40: Esquema per el rellotge de temps real (font: Elaboració pròpia)

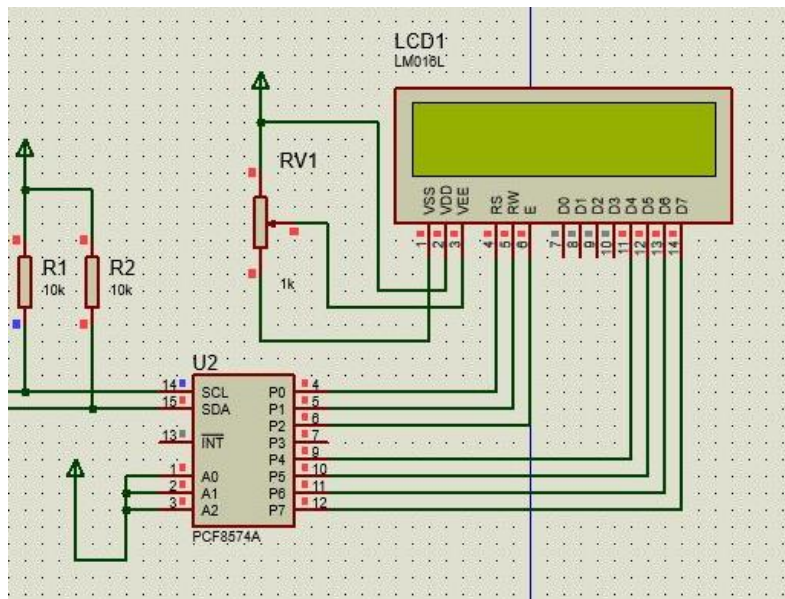
Com es pot veure el circuit és bastant senzill, a part del oscil·lador i la pila s'ha de tenir en compte el pin 3, que té la funció d'interrupció i en cas de no ser utilitzar s'ha de connectar a Vcc mitjançant una resistència per limitar el corrent que entra l'integrat.

Les resistències de *pull-up* han sigut afegides per recordar que són necessàries en tota comunicació I2C, però en cas que el circuit general ja n'incorporés no és necessari doblar-les.

7.3.9. Circuit per la pantalla LCD

Per a la pantalla LCD no és necessària cap connexió especial, ja que anirà acompanyada de l'adaptador per a bus I2C i es pot instal·lar relativament a prop del microcontrolador, ara bé, en cas que s'instal·lés gaire lluny del microcontrolador seria necessari el circuit expensor de bus explicat anteriorment.

És necessari saber la connexió del controlador I2C de la pantalla el qual utilitza el circuit integrat PCF8574 entre altres coses, per saber l'adreça a la qual s'ha de referir el microcontrolador per comunicar-se amb la pantalla.



Imatge 41: Connexió entre la pantalla LCD i el controlador PCF (font: Elaboració pròpia)

Com es pot veure només quatre de les vuit entrades per a escriure els dígit a la pantalla són connectades, aquesta és una configuració que estalvia cablejat i ports però per altra banda complica una mica el software.

La funció del potenciòmetre és ajustar el contrast de la pantalla, si no l'ajusta correctament, no se'n distingeixen els caràcters.

Finalment els pins 1,2 i 3 de l'integrat PCF8574 són els encarregats d'imposar l'adreça de la comunicació I2C. Normalment estan tots connectats a '1' o a '0', essent les adreces 7 o 0 en decimal. En cas de no saber l'adreça es fot comprovar amb un multímetre el contacte d'aquells 3 pins respecte a alimentació o massa.

7.4. Protocols de comunicació

7.4.1. RS232

Es tracta d'un protocol d'intercanvi de dades binari, asíncron i en sèrie entre dos terminals. En principi va ser dissenyat per a comunicar-se entre distàncies no majors a 15m i amb velocitats de transmissió de fins a 20kbits/s.

Segons la direcció en què viatgen les dades en la comunicació entre dos dispositius podem classificar el sistema com:

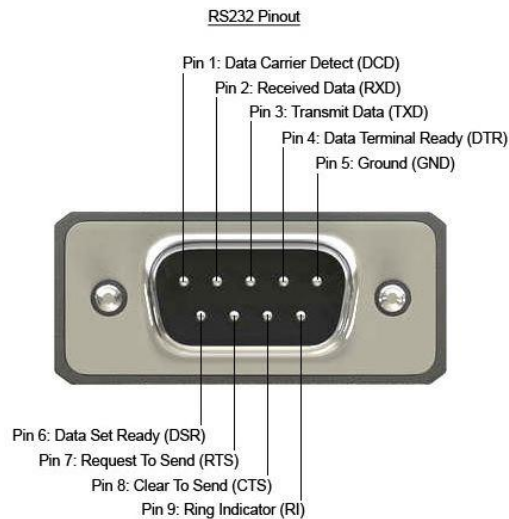
- **Simplex:** Les dades viatgen en una sola direcció
- **Half duplex:** Les dades viatgen en les dues direccions, però només durant un temps determinat.
- **Full duplex:** Les dades poden viatjar ambdues direccions a la vegada.

Per altra banda tenim les UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) que és la unitat que utilitza el microcontrolador per a tractar les comunicacions sèrie i els problemes que poden portar associades, com ajustar tensions entre emissor i receptor, governar senyals de control i transformar la informació del bus de dades en paral·lel a sèrie i viceversa. Aquestes unitats són especialment importants al tractar-se d'una comunicació asíncrona, ja que han de ser capaces de detectar en quin moment la comunicació comença i en quin moment acaba.

Ambdós microcontroladors que s'han seleccionat pel disseny, PIC18F4620 i PIC18F2580 incorporen un mòdul USART on la comunicació sèrie és possible realitzar-la també de forma síncrona, de fet al tractar-se dels últims models de microcontroladors de Microchip, aquest mòdul l'han millorat i s'anomena EUSART (Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), amb millores com detecció automàtica de la ràtio de bauds i calibració, transmissió del caràcter 12-bits Break i automàtic *Wake-Up* després de rebre el *Sync Break*.

Aquesta unitat dona la possibilitat de configurar la transmissió tant asíncrona com síncrona, essent *full-duplex* per l'asíncrona i *half-duplex* per la síncrona.

Antigament tots els ordinadors disposaven de entrades i sortides amb els seus respectius connectors per la interfície RS 232 com es mostra en la imatge 43.

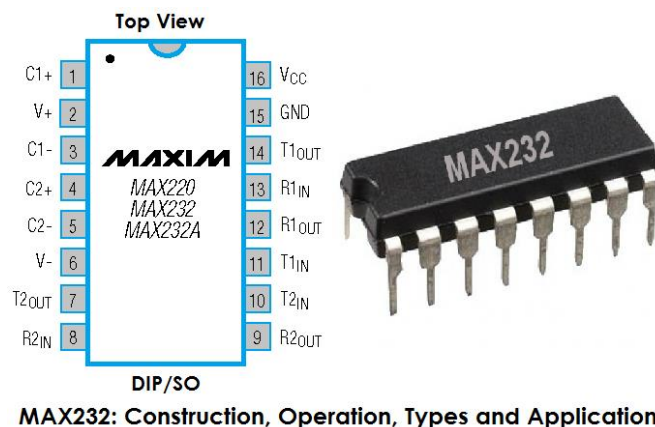


Imatge 42: Pins del connector DB9 per RS232 (font: <http://www.usconverters.com>)

En els pins 2 i 3 es troben les línies de transmissió de dades (RXD i TXD), mentre que els altres pins s'utilitzen per a senyals de control i massa.

Actualment, però, aquesta interfície de transmissió ha quedat en desús a causa de l'aparició de l'USB, amb major robustesa i gran velocitat de transmissió de dades, per això és gairebé impossible trobar un ordinador modern que disposi d'un connector de port sèrie.

En cas que es vulgui implementar aquesta comunicació en l'actualitat s'ha de fer amb un convertidor de RS232 a TTL i simular un port sèrie (COM) a l'ordinador. Per això hi ha un circuit integrat que s'encarrega de fer aquesta conversió, es tracta del MAX232.



Imatge 43: 'Pinout' del integrat MAX232 (font: www.electricaltechnology.org)

Com es pot veure en la imatge té la possibilitat de dues entrades sèrie i dues sortides sèrie. La seva funcionalitat es basa a adaptar els nivells de tensió de la comunicació RS232 als nivells TTL, ja que un '1' lògic en RS232 correspon a una tensió d'entre -3V fins -15V, mentre que a TTL són 5V i el '0' lògic RS232 correspon a un nivell de tensió d'entre 3V fins 15V, mentre que a TTL són 0V.

Utilitzant el MAX232 existeixen adaptadors que adapten la sortida sèrie del microcontrolador i la converteixen a USB, per tal de poder ser connectar a un ordinador o altres dispositius. És important invertir les línies de connexió entre microcontrolador i convertidor USB-TTL, és a dir, la sortida TX del microcontrolador anirà connectada a l'entrada RX del convertidor i la sortida RX del microcontrolador a l'entrada TX del convertidor. Això és així perquè el microcontrolador es comporta com a emissor i l'ordinador com a receptor o viceversa, però mai tindran la mateixa funció.

Per altra banda, aquesta connexió no incorpora cap pin de control, ja que d'això se n'encarreguen les mateixes UART's del microcontrolador i ordinador enviant en la comunicació sèrie aquests bits de control. És important configurar la mateixa freqüència de transmissió entre emissor i receptor essent valorada amb la unitat *bauds*.

La ràtio de bauds es defineix com el nombre mitjà de diferents símbols que apareixen en la transmissió per segon. Si es tracta d'una transmissió que només apareixien dos símbols aleshores el ràtio de bauds i els bits per segon (bps) tenen el mateix valor.

7.4.2. I2C

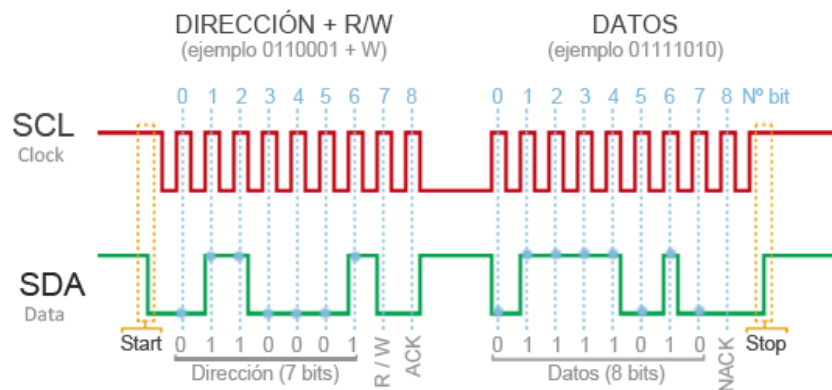
El protocol de comunicació I2C (Inter-Integrated Circuit) es basa en una comunicació en bus que va ser dissenyada en un principi per a comunicar el microcontrolador amb diferents perifèrics dins una mateixa placa de circuit integrat. Està composta de dues línies principals: SDA, per a la transmissió de dades i SCL, per a la transmissió del senyal de rellotge, fent així el sistema completament síncron. Una tercera línia és necessària, es tracta de la massa, ja que emissor i receptor han de compartir la mateixa referència. Com que normalment aquests estan en el mateix circuit integrat no serà necessari tirar una línia expressament per a la connexió de massa.

La comunicació amb el protocol I2C sempre es fa des d'un mestre a un esclau (*master-slave*), pot ser bidireccional, per tant el mestre pot elegir si envia dades (Write) o rep dades (Read). La velocitat de transmissió de dades pot arribar a 5 Mbits/s en comunicacions ultraràpides.

La forma de comunicació entre el mestre i l'esclau sempre té la mateixa forma, primer el mestre envia una ordre de començament de la comunicació, seguidament envia l'adreça del dispositiu

el qual es vol comunicar amb un últim bit que marca si es vol enviar o rebre dades i finalment rep un bit de part de l'esclau que està llest per a la comunicació. Un cop s'ha completat la fase inicial la comunicació es posa en marxa i les dades s'envien en paquets de 8 bits seguidament d'una senyal de confirmació que les dades han sigut rebudes correctament de part del mestre de l'esclau segons si s'estaven rebent o enviant dades.

En la següent imatge es pot veure la forma de la comunicació:

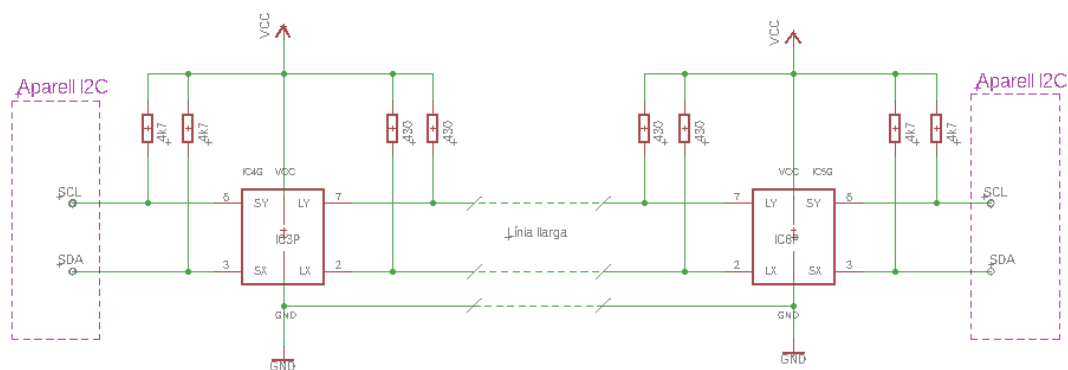


Imatge 44: Seqüència de bits en la comunicació I2C (font: www.luisllamas.es)

Com es pot veure tant el mestre com l'esclau diferencien cada bit de la transmissió gràcies a l'ona de rellotge, essent cada període un bit diferent. Cal destacar també que l'adreça es compon de 7 bits, el que ens possibilita la integració de fins a 112 aparells en el bus (16 dels 128 possibles estan reservats per fins especials).

Pel correcte funcionament del bus és necessari la instal·lació de resistències de *pull-up* a la sortida del microcontrolador evitant així estats d'incoherència quan no es transmet res per la línia. Els valors recomanats de les resistències de *pull-up* són de entre 4,7kΩ i 10kΩ.

El principal problema del bus I2C és que el seu senyal es degrada si la informació ha de recórrer llargues distàncies, ja que va ser dissenyat únicament per transmetre informació dins una mateixa placa de circuit integrat. La solució a aquest problema tracta d'instal·lar un circuit integrat expansor de bus, comunament s'utilitza el 82B715, que permet distàncies de transmissió de fins a 50 metres. Per a la connexió a llarga distància entre dos aparells utilitzant el protocol I2C són necessaris dos circuits integrats 82B715, un per al mestre i un altre per a l'esclau com mostra la imatge:



Imatge 45: Esquema per el expansor de bus I2C (font: Elaboració pròpia)

Com es pot veure s'incorporen dues resistències de *pull-up* de petit valor en la part posterior al circuit integrat 82B715 que són recomanades pel *datasheet* del fabricant 'Texas Instruments'.

Per altra banda s'observa com s'incorpora la línia de massa entre els dos aparells, que no és necessària en cas que ja estiguin connectats per la mateixa massa.

7.5. Simulacions

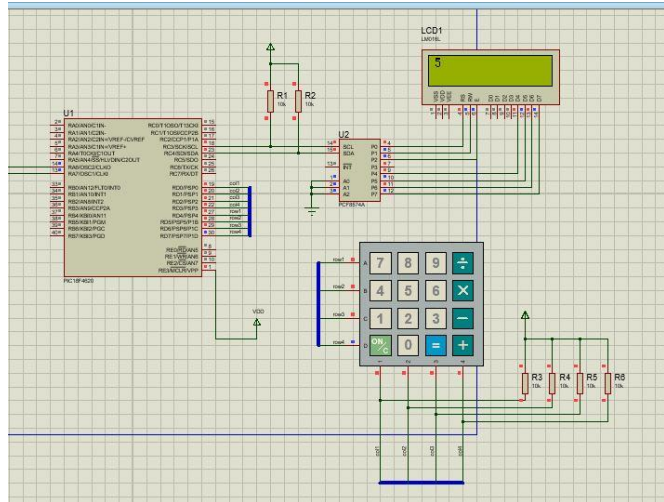
Per a les simulacions s'ha utilitzat el programa de disseny i simulació de circuits electrònics Proteus 8 creat per Labcenter Electronics. Cal destacar el potencial d'aquest programa en la simulació digital, essent possible compilar programes i programar-los al microcontrolador i un cop es llança la simulació els elements interactuen, tanmateix es pot veure cada punt del circuit electrònic si està a nivell alt '1' o a nivell baix '0'. També incorpora simulació analògica, amb la possibilitat d'afegir punts de mesura de tensió o corrent, així com graficar paràmetres.

L'inconvenient en la utilització d'aquest programa és que no es poden simular grans circuits, ja que requereix d'una gran capacitat de computació. Per tant, és recomanable simular petites parts del disseny electrònic total en cada simulació.

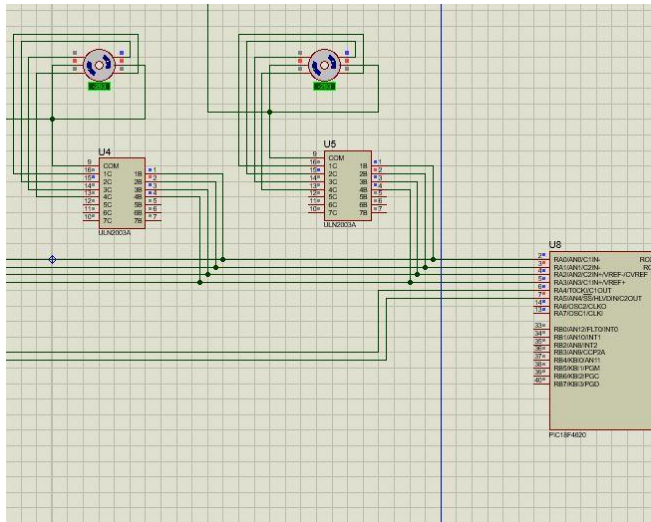
A més a més, incorpora llibreries predissenyades de diferents plataformes de microcontroladors com PIC, Arduino, PICAXE, AVR, 8051 i altres.

A continuació es mostren dues simulacions en les quals s'ha emprat Proteus, en la primera es valida la correcta lectura del teclat matricial i el funcionament de la pantalla LCD mitjançant el

controlador PCF8574. En la segona, se simula el correcte funcionament dels motors pas a pas introduint-hi les seqüències descrites en l'apartat 8.2.2.



Imatge 46: Simulació del teclat matricial i la pantalla LCD (font: Elaboració pròpia)



Imatge 47: Simulació dels motors pas a pas (font: Elaboració pròpia)

7.6. Disseny de les plaques de circuit imprès

A l'hora de dissenyar les plaques es tindran en compte tres dissenys diferents, un per al microcontrolador principal, un per al microcontrolador secundari i finalment un per al microcontrolador per la regulació de la calefacció, tenint en compte que aquest últim estarà repetit vuit vegades, tantes com habitacions que disposen de radiador tal com mostra la taula 5.

Cal dir que totes les plaques portaran integrat el circuit expensor de bus I2C, el que en permetrà la interconnexió entre elles.

7.6.1. Software de disseny

Per al disseny tant de l'esquema electrònic com per les PCB s'ha utilitzat el *software* Eagle que pertany a l'empresa Autodesk. Es tracta d'un programa molt utilitzat arreu del món amb gran quantitat de llibreries que et permeten tenir gairebé tots els components electrònics tant en la seva forma de representació dins un esquema elèctric com amb el seu encapsulat real per després incorporar-los al disseny de la PCB. A més a més, disposa d'eines per a la creació de nous components en cas que siguin molt nous i encara no hagin sigut incorporats en les noves actualitzacions.



Imatge 48: Logotip Eagle (font: www.autodesk.com)

Eagle disposa d'una eina de gran utilitat que s'anomena *Autorouter*, la seva funció és la de traçar la PCB un cop s'han col·locat tots els components del circuit electrònic. Pots configurar l'*Autorouter* perquè optimitzi el màxim el circuit i utilitzi el menor nombre de vies. Un cop ha sigut traçada la PCB s'utilitza l'eina *CAM Processor* la qual extreu tots els arxius necessaris per a elaborar la placa: cara superior, cara inferior, forats, vies i escriptures.

7.6.2. Placa del microcontrolador principal

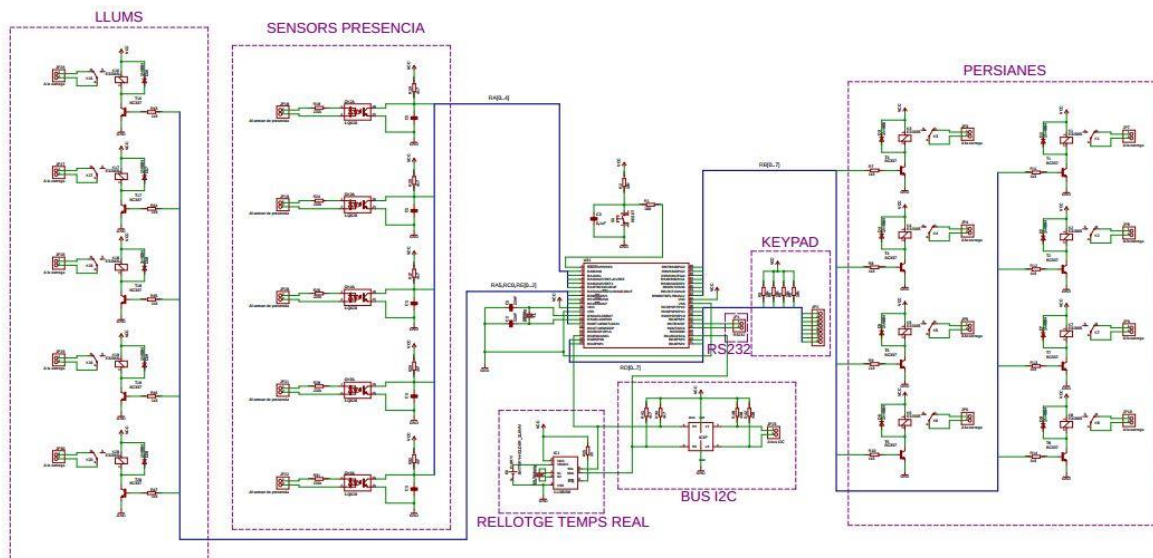
Seguidament es mostrarà l'esquema electrònic complet de la placa pel microcontrolador principal, la qual porta el PIC18F4620. Els perifèrics que controla seran són:

- 4 motors de persianes

- 5 sensors de presència
- 5 llums

Per altra banda porta incorporats:

- Connexió I2C amb expansor de bus
- Connexió RS232
- Pantalla LCD
- Teclat matricial

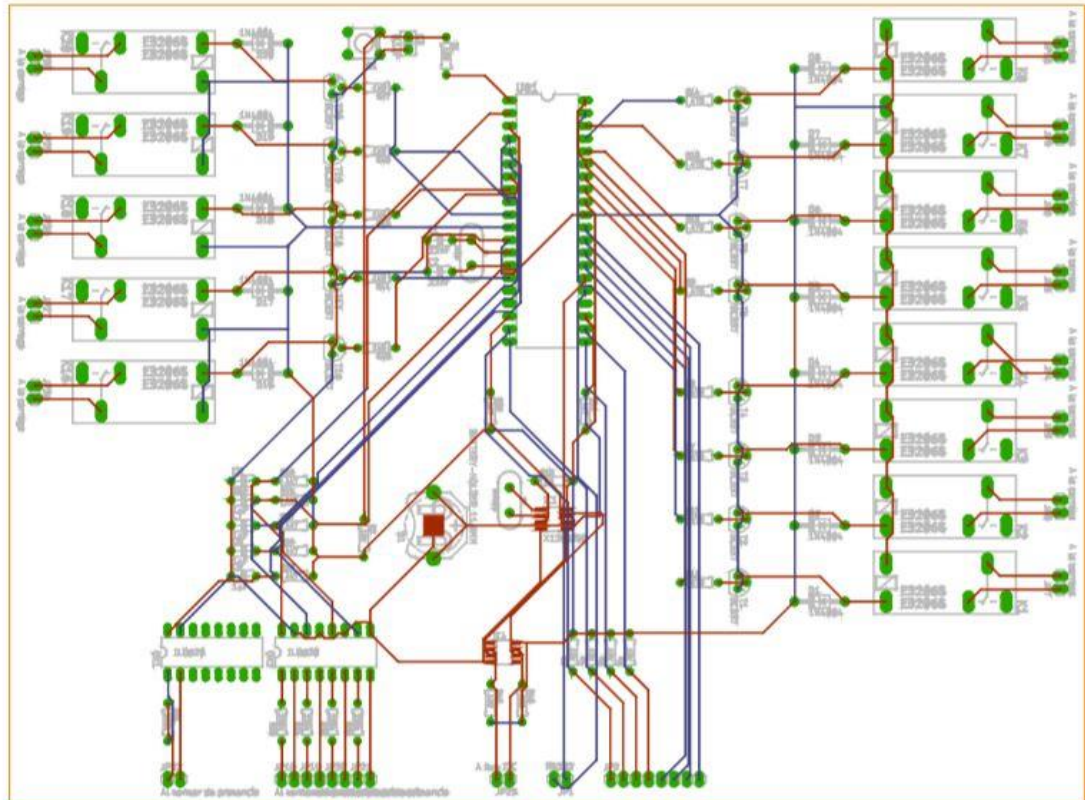


Imatge 49: Esquema sencer per al microcontrolador principal (font: Elaboració pròpia)

Per tal de diferenciar cada component s'han emmarcat els diferents mòduls amb línia discontinua de color lila.

Per a connectar la majoria d'elements s'han utilitzat línies de bus, així s'elimina un gran nombre de cables i l'esquema és més visual.

Per a la connexió dels elements a la placa s'han deixat connectors distribuïts al voltant de la placa. Les dimensions totals de la placa són de 220 x 160 (mm).



Imatge 50: PCB del microcontrolador principal

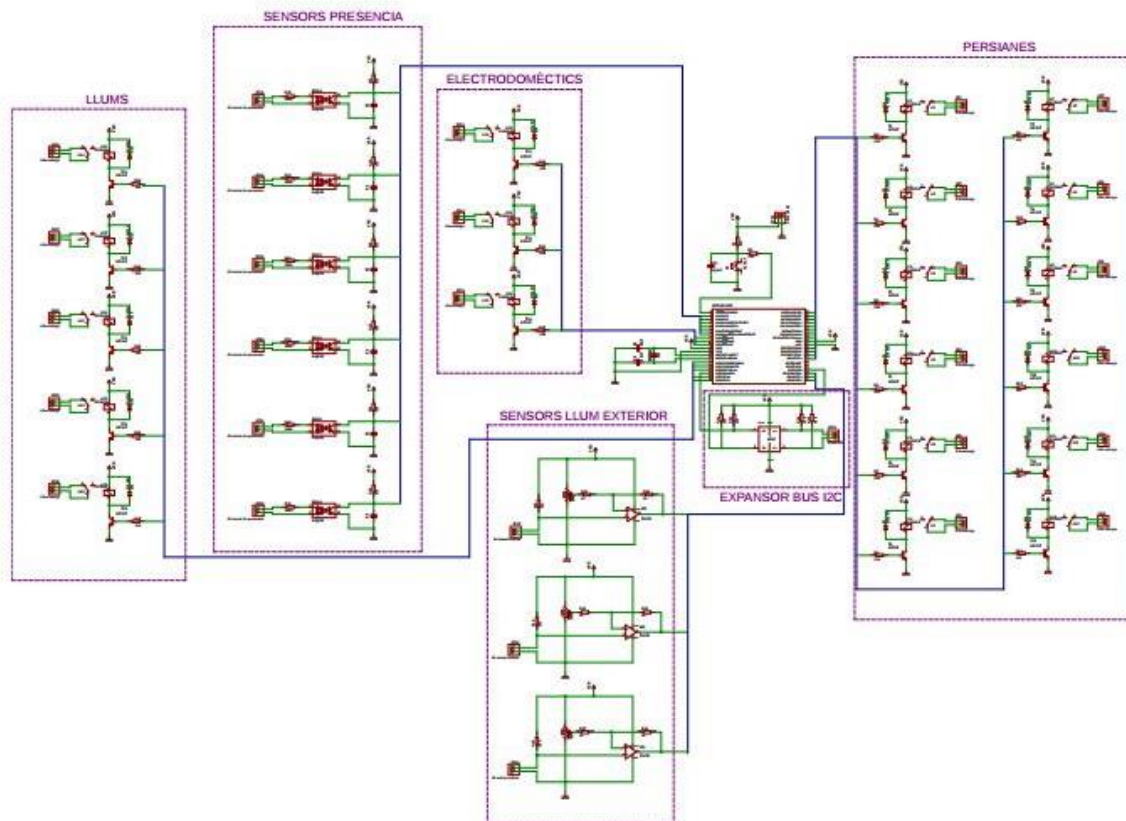
7.6.3. Placa del microcontrolador secundari

Seguidament es mostra l'esquema electrònic complet de la placa pel microcontrolador secundari, la qual porta el PIC18F4620. El perifèrics que controlarà seran:

- 6 motors de persianes
- 6 sensors de presència
- 6 llums
- 3 sensors de llum exterior
- 3 contactors de electrodomèstics

Per altra banda porta incorporats:

- Connexió I2C amb expansor de bus

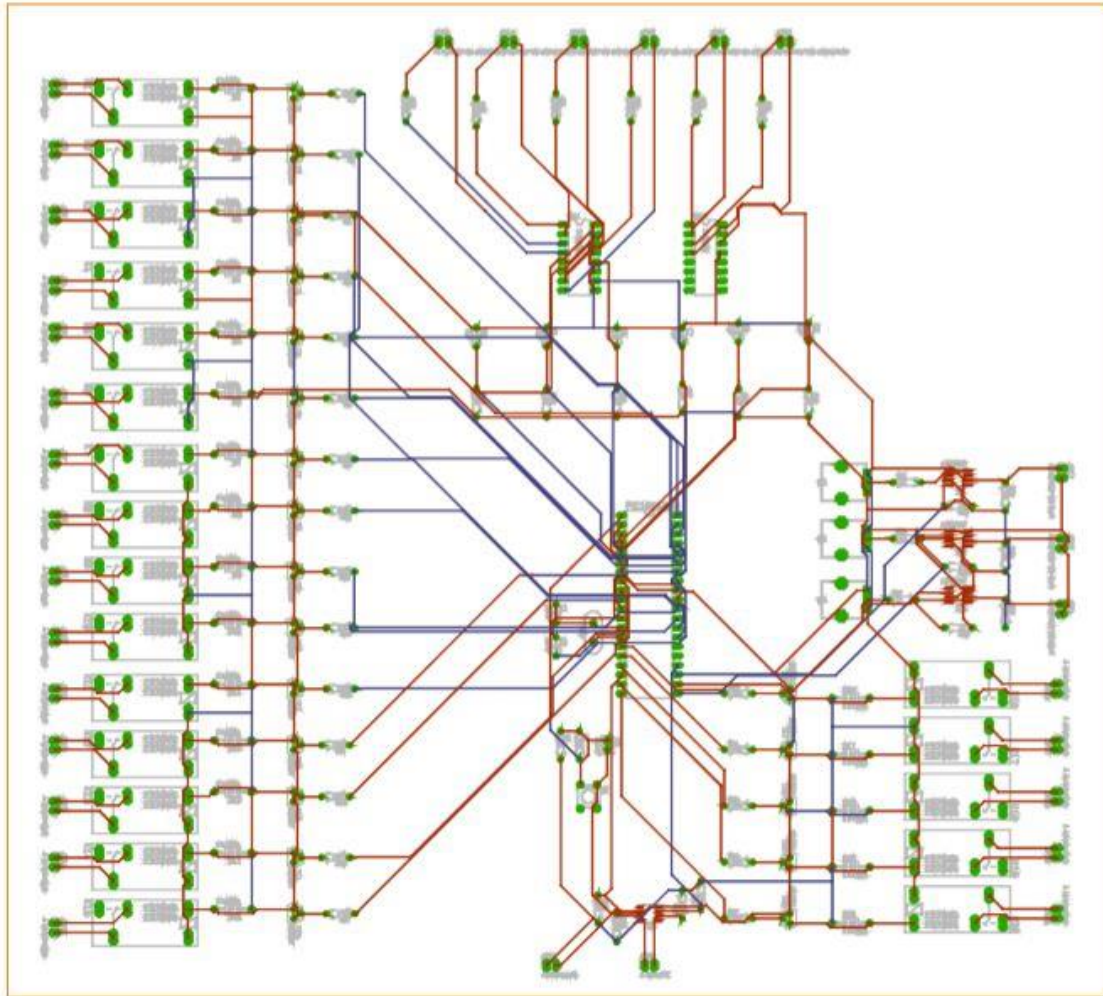


Imatge 51: Esquema sencer per al microcontrolador secundari (font: Elaboració pròpia)

Per tal de diferenciar cada component s'han emmarcat els diferents mòduls amb línia discontinua de color lila.

Per a connectar la majoria d'elements s'han utilitzat línies de bus, així s'elimina un gran nombre de cables i l'esquema és més visual.

Per a la connexió dels elements a la placa s'han deixat connectors distribuïts al voltant de la placa. Les dimensions totals de la placa són de 300 x 270 (mm).



Imatge 52: PCB del microcontrolador secundari

7.6.4. Placa del microcontrolador per la regulació de temperatura

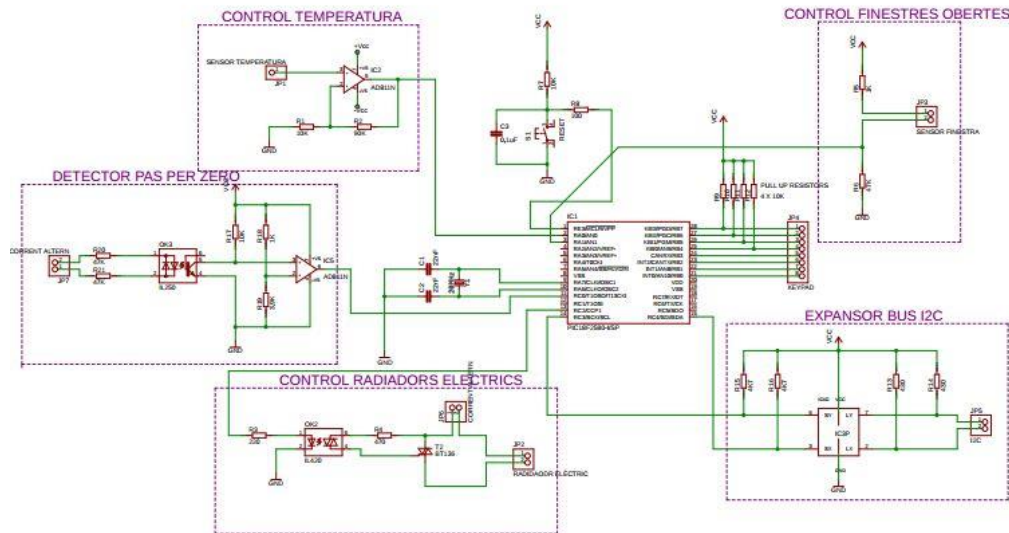
Seguidament es mostrarà el esquema electrònic per als microcontroladors per regular la temperatura, els quals porten el PIC18F2580.

Els perifèrics que controlarà seran:

- Sensor de temperatura
- Sensor de finestra oberta
- Regulació del radiador elèctric

Per altra banda porta incorporats:

- Display I2C
- Teclat matricial
- Connexió I2C amb expansor de bus



Imatge 53: Esquema sencer per al control de la temperatura (font: Elaboració pròpia)

El més important a l'hora de dissenyar aquesta placa és tenir en compte que per el control del radiador elèctric és necessària una sortida PWM, per tant s'ha connectat al pin nº13 que disposa del mòdul CCP, tanmateix, per al control de temperatura es necessita una entrada analògica que tingui disponibilitat al mòdul ADC, per això s'ha de connectar a qualsevol pin del port A.

A continuació es mostra la PCB la qual mesurarà 80 x 80 (mm).



8. Disseny del prototip de prova

8.1. Abast del prototip

El prototip de proves pretén ensenyar el funcionament a petita escala del prototip de vendaper tal de poder-ho interpretar més fàcilment. Implementarà el control dels elements principals de la instal·lació domòtica però representats a escala petita, per exemple, les llums seran substituïdes per LEDs o els motors de les persianes per petits motors pas a pas.

Per a relacionar-ho més amb el prototip de venda es construirà una maqueta de fusta que representarà la planta superior de l'habitatge utilitzat per la instal·lació domòtica però a escala 1:30. Les funcions que implementarà la maqueta seran les següents:

- Control de la il·luminació: 4 Leds
- Control de persianes: 4 motors pas a pas
- Control de la llum exterior: 4 LDR
- Control de temperatura: 1 LM35DZ
- Regulació calefacció: 1 resistència calefactora de 25W
- Display LCD amb connexió I2C
- Teclat matricial
- Connexió a l'ordinador via RS232

La instal·lació comprendrà dos funcionaments, manual i automàtic: Per tal de seleccionar els modes i després els submodes s'utilitzarà el teclat matricial i la pantalla LCD que funcionen com a interfície amb el microcontrolador. Les tecles que s'han de pitjar per navegar pels menús s'indicaran més endavant en el diagrama de flux i el manual d'usuari. Cada mode tindrà una funcionalitat diferent i permetrà ajustar paràmetres com la consigna de la temperatura:

- Manual
 - Control manual: Serà possible controlar cada element de la instal·lació individualment, apujar o abaixar persianes, encendre o apagar llums, comunicar-se amb l'ordinador.
 - Elecció del mode de calefacció: Hi hauran dos modes de calefacció programats, un control tot/res amb una histèresi del 5% i un control PID.

- Elecció de la consigna de temperatura: Un cop dins el mode calefacció serà possible canviar la consigna de temperatura en qualsevol moment utilitzant el teclat matricial.
- Automàtic
 - Persianes: Les persianes es controlaran automàticament en funció de la llum exterior, cada persiana disposarà del seu propi sensor de llum d'acord amb els diferents nivells de claror segons l'orientació de l'habitatge. Un cop la llum exterior disminueixi d'un cert llindar les persianes s'abaixaran automàticament i viceversa. Aquest llindar es podrà configurar per hardware, mitjançant un potenciòmetre col·locat al costat de cada sensor de llum.
 - Il·luminació interior: La il·luminació interior, com les persianes, funcionarà d'acord amb els sensors de llum, així doncs quan la llum exterior disminueixi d'un cert llindar s'encendran les llums interiors i viceversa.
 - Control de la calefacció: El control de calefacció en mode automàtic sempre funcionarà amb el mode de histèresis, ja que no requereix tanta capacitat de CPU, així doncs el microcontrolador pot dur a terme totes les feines de manera consecutiva.

8.2. Hardware del prototip de proves

Pel disseny del hardware s'han mantingut a la mesura del possible els circuits utilitzats en el prototip de venda, en la taula següent es podrà veure en quins punts difereix el *hardware* implementat en el prototip de proves respecte del prototip de venda:

Hardware	Prototip de venda	Prototip de proves
Il·luminació	Llums LED de 8W	LED per PCB de 0,1W
Control persianes	Motors 205W	Motors pas a pas
Control llum exterior	LDR amb Schmitt Trigger	LDR amb Schmitt Trigger
Control temperatura	LM35DZ	LM35DZ
Control calefacció	Radiador elèctrics de 1800W	Resistència tèrmica 25W
Display LCD	Connexió I2C amb controlador PCF	Connexió I2C amb controlador PCF
Teclat matricial	Connexió 8 pins	Connexió 1 pin
Connexió RS232	Mòdul adaptador a USB mitjançant MAX232	Mòdul adaptador a USB mitjançant MAX232

Taula 8: Comparació dels elements entre els dos prototips (font: Elaboració pròpia)

Seguidament es procedirà a explicar tant l'esquema com el funcionament del *hardware* que difereix respecte a el prototip de venda.

8.2.1. Il·luminació

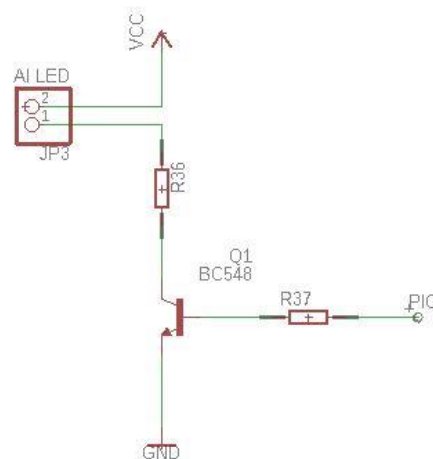
Per a la il·luminació s'utilitzaran LEDs petits de color blanc, ja que són els que produeixen més llum. Per a controlar-los s'utilitzarà un transistor que treballarà en saturació i tall per tal de no sobrecarregar el microcontrolador.

Els fabricants marquen en 20mA el corrent mínim necessari per a aquests LEDs d'alta lluminositat. Per tant el resistor en sèrie necessari pel LED serà de:

$$R_{36} = \frac{V_{CC} - V_{LED} - V_{CE|sat}}{I_C} = \frac{5 - 3,7 - 0,2}{20 \cdot 10^{-3}} = 55\Omega \quad (24)$$

S'utilitzarà un resistor normalitzat de 56Ω (Sèrie E-24/0,25W).

El transistor elegit és el BC547, un transistor BJT bàsic suficient per encendre un LED, amb un guany de corrent $h_{FE} = 300$.



Imatge 55: Esquema per la connexió dels LEDs (font: Elaboració pròpia)

Seguidament es procedeix a realitzar el càlcul del resistor de base perquè el transistor treballi en saturació, se seguirà el mateix procediment que en l'apartat 7.3.1.

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{20mA}{300} = 66,66\mu A \quad (25)$$

Es multiplica el corrent de base per mantenir el marge de seguretat, per tant el corrent de base necessari serà 133,3μA.

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{CE|sat}}{I_B} = 31,5k\Omega \quad (26)$$

S'utilitzarà una resistència de base de 30kΩ (Sèrie E-24/0,25W).

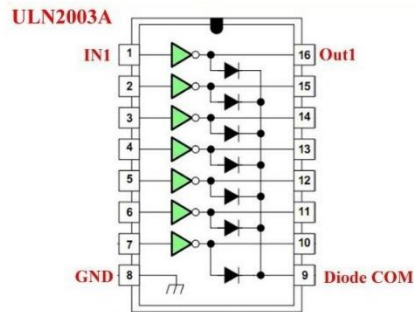
8.2.2. Control persianes

Per al control de persianes com he dit anteriorment s'utilitzaran motors pas a pas. El seu model és el 28BYJ-48 que poden funcionar en 5V de tensió contínua. Aquests motors són de quatre pols i al comprar-los incorporen un *driver* de potència, format per un integrat que s'anomena ULN2003 el qual amplifica el corrent donat pel microcontrolador per tal de poder-los controlar directament.



Imatge 56: Motor pas a pas 28BYJ-48 (font: www.aliexpress.com)

L'integrat ULN2003 està configurat per un *array* de transistors *Darlington* que poden subministrar fins 1,5A a la seva sortida.



Imatge 57: Integrat ULN2003 (font: www.luisllamas.com)

El motor té cinc entrades, quatre connectades a cada bobina, i una més per a la massa comuna. Per a fer funcionar el motor correctament s'ha d'introduir a la següent seqüència a les seves entrades:

Entrada	A	B	C	D
Seqüència	1	0	0	0
	1	1	0	0
	0	1	0	0
	0	1	1	0
	0	0	1	0
	0	0	1	1
	0	0	0	1
	1	0	0	1

Taula 9: Seqüència per al control dels motors pas a pas (font: Elaboració pròpia)

Per altra banda, si tractem totes les entrades en un mateix port del microcontrolador i en canviem el format a decimal la taula es simplifica molt.

Entrada	Port A
	8
	12
	4

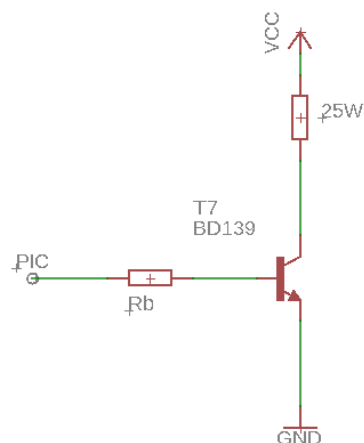
Motor	M1	M2	M3	M4
Seqüència Port B En decimal	128	132	136	140
	192	196	200	204
	64	68	72	76
	96	100	104	108
	32	36	40	44
	48	52	56	60
	16	20	24	28
	144	148	152	156

Taula 11: Seqüència al port B per al control dels motors pas a pas (font: Elaboració pròpia)

8.2.3. Control calefacció

Per a la calefacció s'han utilitzat resistències tèrmiques encapsulades en alumini que són capaces de despendre fins a 25W de potència en calor i tenen un valor òhmic de 47Ω amb una tolerància del 5%.

Per a controlar la seva potència des del microcontrolador s'aplicarà una ona PWM la qual ha de commutar un transistor, aquest ha de ser capaç de commutar a la freqüència de l'ona PWM i a més a més ha de poder donar la potència necessària per a la resistència calefactora.



Imatge 59: Esquema per al control de la resistència tèrmica (font: Elaboració pròpia)

Per a calcular els paràmetres del circuit s'ha de començar per trobar la tensió d'alimentació de la resistència tèrmica per tal que ens aporti la potència màxima i així desenvolupar un sistema més ràpid. Primer trobem el corrent necessari perquè la resistència doni 25W de potència:

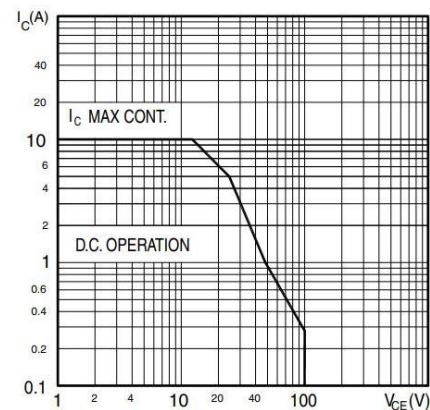
$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = 730mA \quad (27)$$

Seguidament trobem la tensió necessària perquè la resistència absorbeixi aquest corrent:

$$V = R \cdot I \approx 35V \quad (28)$$

El transistor elegit per a conduir la càrrega de potència és el model TIP147 de STMicroelectronics el qual té uns paràmetres màxims:

- $V_{ce} = 100V$
- $I_C = 10A$
- $h_{FE} = 1000$
- $I_B = 0,5A$
- $T_{on} = 0,9\mu s$
- $T_{off} = 4\mu s$



Imatge 60: SOA del transistor TIP 147 (font: Referència [7])

Podem veure que les característiques màximes del transistor compleixen amb els paràmetres màxims de la nostra aplicació, també els temps de commutació del transistor són adequats ja que la nostra freqüència PWM serà de 1kHz per tant el temps màxim de commutació que podia tindre el transistor seria de:

$$T_{comm.} = \frac{1}{f_{PWM}} = 1ms \quad (29)$$

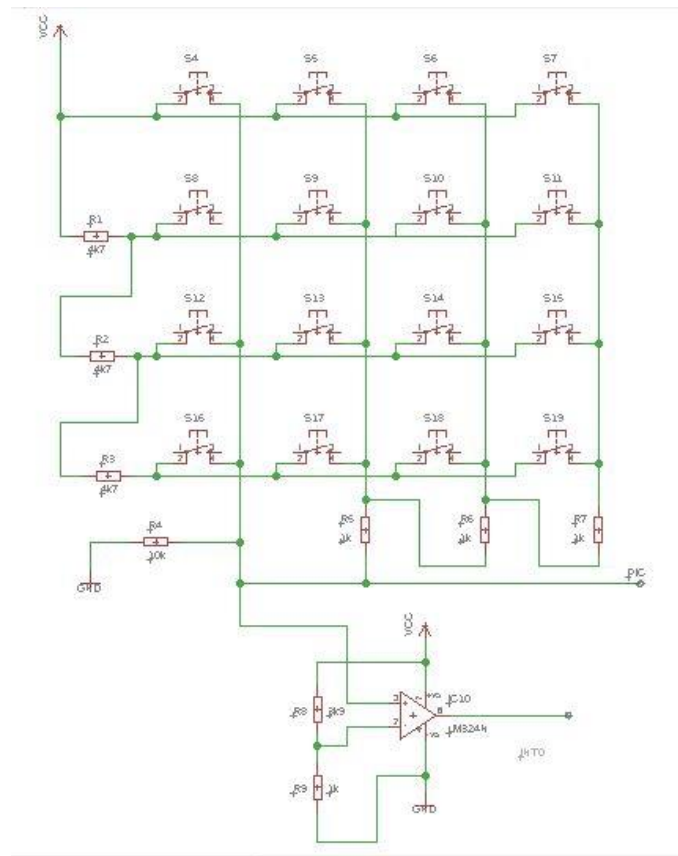
A més a més de les característiques màximes, s'ha de comprovar la zona de treball segur (SOA) en la imatge 61, tenint en compte que V_{ce} serà de 35V i que la corrent màxima serà de 730mA, es pot assegurar que el transistor suportarà aquesta potencia.

Finalment se seguirà el mateix procediment que en l'apartat 8.2.1. per a calcular la resistència de base per tal que el transistor treballi en tall i saturació. Aplicant les equacions nº24, 25 i 26 es troba que la resistència de base ha de tenir un valor de **2,4k Ω (Sèrie E-24/0,25W)**.

8.2.4. Teclat matricial

Per al prototip de proves s'ha decidit connectar el teclat matricial de una forma diferent al prototip de venta, sobretot per facilitar el *software* en quin moment ha de llegir una tecla, d'aquesta manera és més senzill configurar una interrupció per flanc de pujada en el moment que una tecla a sigut pitjada i cridar la funció de llegir la tecla només quan se n'hagi pitjatalguna.

Tot i ser més difícil en aspectes de *hardware* i de *software*, optimitza molt l'espai de entrades/sortides del PIC, ja que només n'ocupa dues, una per la lectura i una per la interrupció.



Imatge 61: Esquema per la connexió del teclat matricial amb 2 pins (font: Elaboració pròpia)

Com es pot veure consisteix a connectar resistors entre dues files o columnes consecutives de manera que quan es premi una tecla es tancarà el circuit i es formarà un divisor de tensió entre els resistors que es trobin pel camí en la tecla pitjada i R4. En el mateix moment, pel pin INT0 entrarà un flanc de pujada que serà detectat com a interrupció i es podrà cridar la funció de llegir el valor de la tecla per *software*. Per a detectar la interrupció correctament s'ha utilitzat un amplificador operacional en configuració de comparador, ja que en el punt de lectura les tensions varien entre 1,8V i 4,9 (taula 12). El divisor de tensió format per R8 i R9 proporciona una tensió d'aproximadament 1V en l'entrada inversora de l'operacional, d'aquesta manera en pitjar qualsevol tecla tindrem un nivell alt a la sortida de l'amplificador.

La complexitat resideix en la preprogramació del *software*, ja que s'ha d'utilitzar el convertidor analògic/digital per a cada lectura de teclat i s'ha de configurar una taula de valors, prèviament comprovada amb *protoboard*, ja que les toleràncies de les resistències en fan impossible l'exactitud. Per a cada tensió se li donarà un marge en la lectura del ADC i se li assignarà el seu valor corresponent de tecla.

S'ha de tenir en compte que els valors dels resistors de les columnes siguin diferents dels de les files i així assegurar que cada tecla té un valor de tensió diferent.

El valor de la tensió teòrica que entrarà al microcontrolador ve donat per la següent expressió:

$$V_x = V_{cc} \cdot \frac{R_4}{(R_4 + R_x)} \quad (30)$$

On R_x és la suma de les resistències que trobem pel camí que seguirà la tensió per a cada tecla pitjada, per exemple si pitgem la tecla 6 (pulsador S10 en la imatge 62), el corrent passarà per R1, R5 i R6, per tant R_x tindrà un valor de 6,7kΩ. Seguidament es mostra una taula on es pot veure per a cada tecla el valor de tensió teòric el real que ha sigut provat físicament amb les toleràncies de les resistències.

Tecla	Valor teòric (V)	Valor real (V)
1	5	4,93
2	4,55	4,48
3	4,17	4,11
4	3,4	3,35
5	3,18	3,15
6	2,99	2,96
7	2,58	2,54
8	2,45	2,42
9	2,35	2,31
0	1,99	1,97
A	3,85	3,79
B	2,82	2,79
C	2,23	2,20
D	1,85	1,82
#	1,92	1,89
*	2,07	2,05

Taula 12: Comparació dels nivells de tensió teòrics i reals per a cada tecla (font: Elaboració pròpia)

Com es pot veure el valor real no difereix gaire respecte del teòric, en cas contrari s'hauria de plantejar-se la instal·lació de resistències de tolerància més baixa. Seguidament s'ha d'elaborar una taula amb els valors que agafaria l'ADC del microcontrolador, així com definir el marge alt i el marge baix de tal manera que cada tecla tingui definit un rang de valors. Per calcular la lectura del ADC segons el nivell de tensió aplicarem la següent equació:

$$lectura_{ADC} = \frac{V_x}{V_{fe}} \cdot 2^n \quad (31)$$

On V_{fe} és 5V i n és el nombre de bits de l'ADC que per ambdós microcontroladors és 10. Seguidament es mostren els valors de la lectura per a cada tecla, així com els marges que se li donaran per *software*.

Tecla	Lectura ADC	Marge superior	Marge inferior
1	1010	1024	964
2	918	963	880
3	842	879	809
A	776	808	731
4	686	730	665
5	644	664	625
6	606	624	589
B	571	588	546
7	520	545	508
8	495	507	484
9	472	483	462
C	451	461	436
*	420	435	412
0	403	411	395
#	387	394	380
D	373	379	0

Taula 13: Lectura ADC per a cada tecla i marges (font: Elaboració pròpia)

8.3. Software

8.3.1. Diagrames de flux

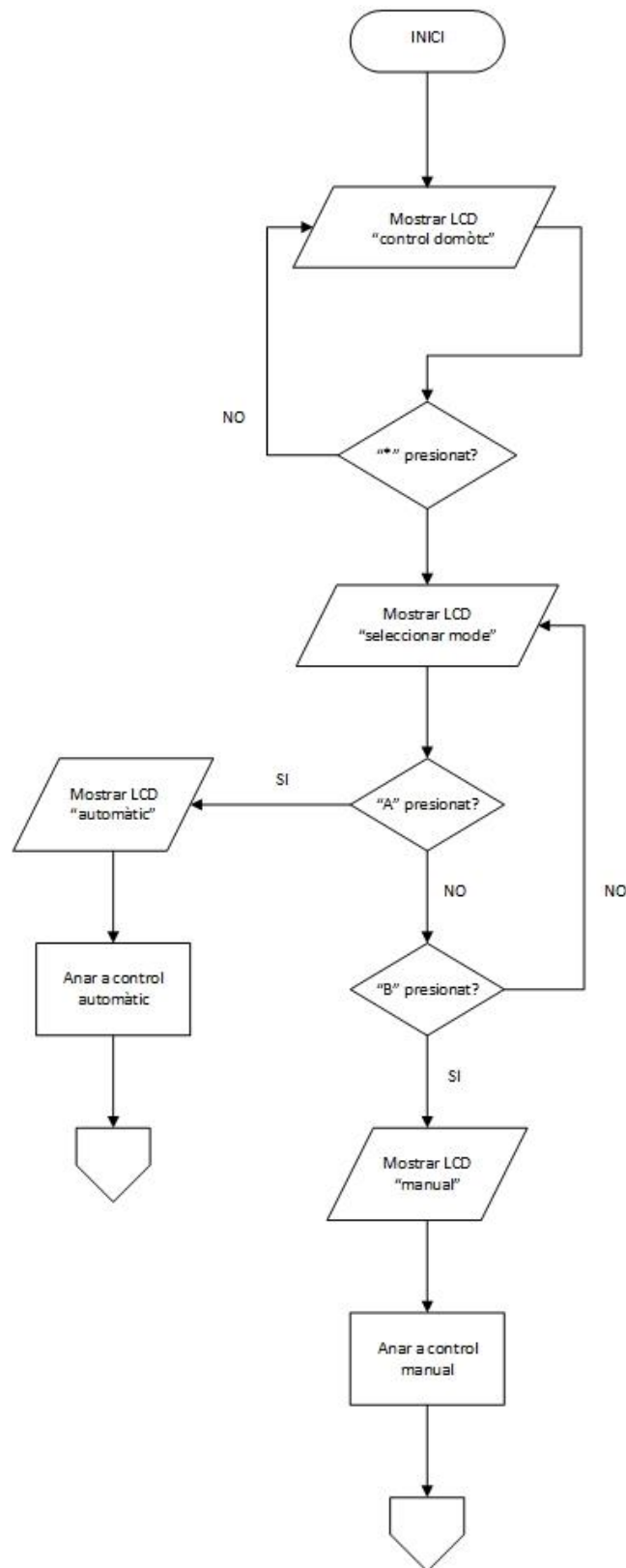
A continuació es procedirà a introduir la seqüència que segueix el programa d'ençà que el sistema es posa en marxa. Per fer-ho s'exposaran una sèrie de diagrames de flux dibuixats amb el programa Visio que pertany al paquet d'Office.

Unes quantes consideracions a tenir en compte per poder interpretar el diagrama correctament:

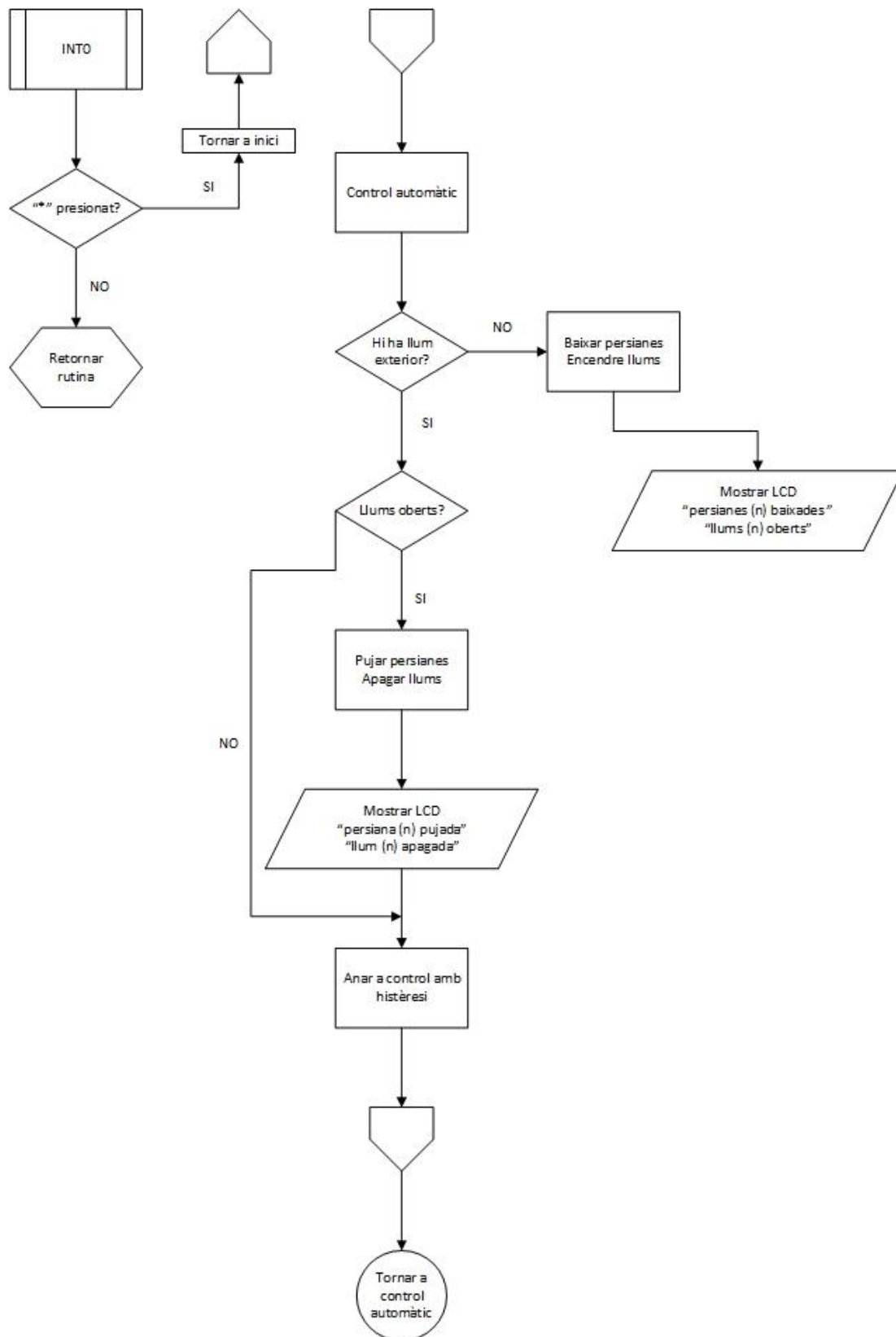
- Un quadrat o rectangle significa que el programa durà a terme un procés o una funció programada.
- Un paral·lelogram significa que hi haurà comunicació amb l'usuari ja sigui per introduir dades amb el teclat matricial o per mostrar dades amb la pantalla LCD.
- Un rombe significa que s'ha de prendre una decisió, sempre portarà una pregunta amb un interrogant a l'interior i en sortiran dues fletxes, una per si es compleix la condició i una altra per si no es compleix.
- Un quadrat o rectangle amb dues línies paral·leles a l'interior significa una subrutina. Normalment s'utilitzarà per a la interrupció provinent del teclat matricial, per tant s'interromprà el programa principal per un moment i es farà la subrutina.
- Un pentàgon sense lletres a l'interior significa que el programa continua en una altra pàgina. Es pot identificar la pàgina de destí pel contingut del requadre abans del pentàgon, ja que la pàgina destí començarà amb un requadre amb el mateix contingut.
- Un cercle significa que el programa continua en una referència a al mateixa pàgina, la referència serà un requadre i tindrà el mateix escrit que el del cercle.
- Un trapezoide significa que el diagrama de flux continua en la següent pàgina per falta d'espai.
- Un hexàgon significa el retorn a la rutina després d'haver atès una interrupció, o després d'haver executat alguna funció que comportava un canvi de pàgina.

El diagrama de flux està estructurat en set pàgines:

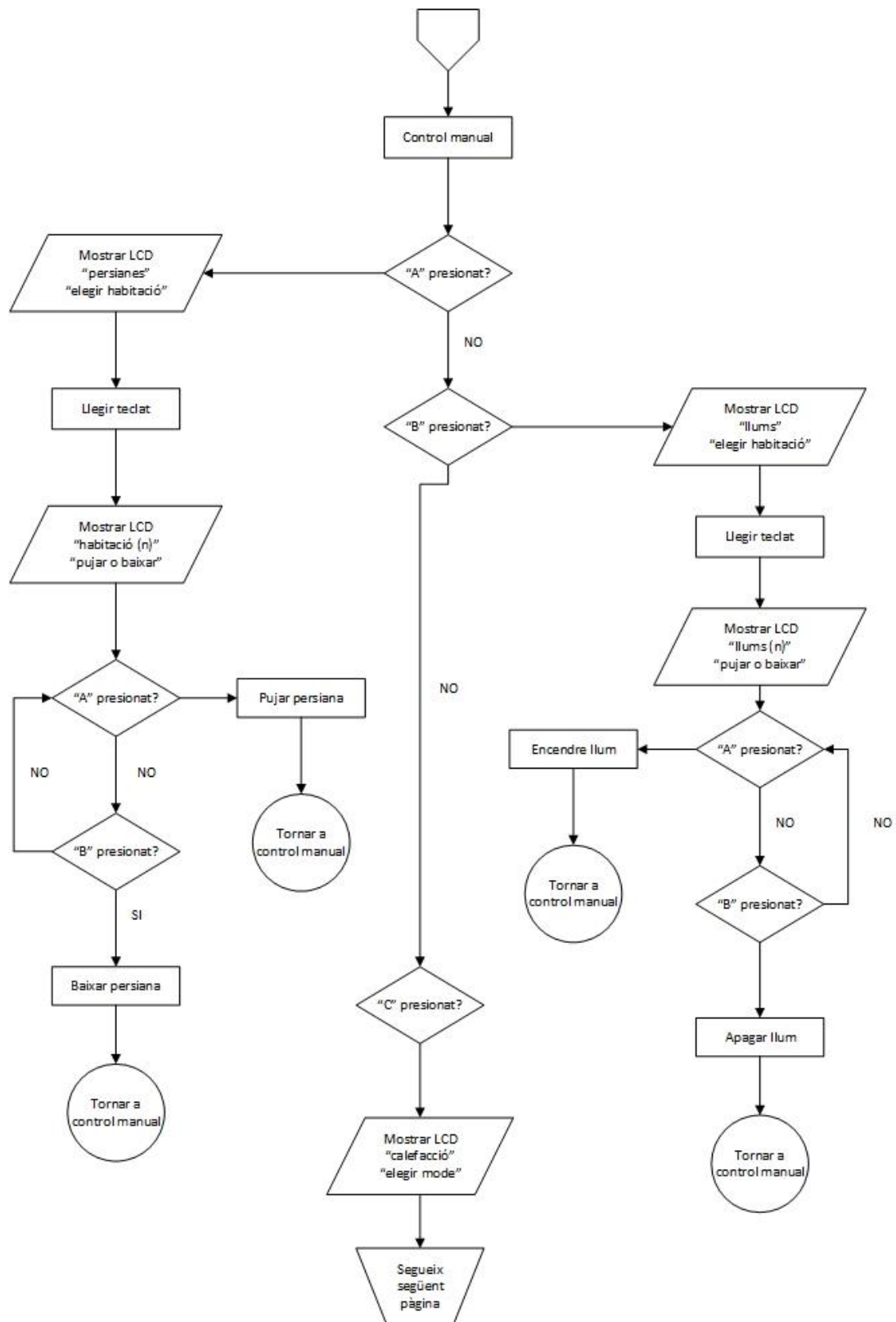
- Inici
- Control automàtic
- Control manual
- Control manual 2
- Canviar consigna
- Control amb histèresi
- Control PID



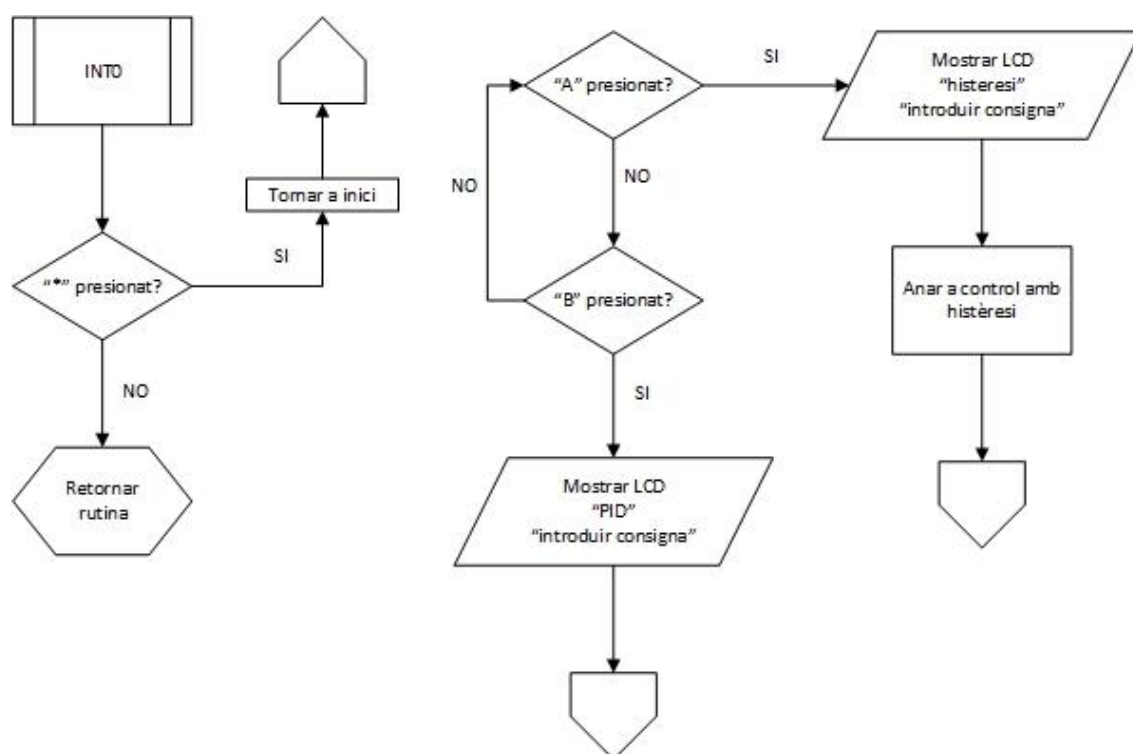
Imatge 62: Diagrama de flux del menú inicial (font: Elaboració pròpia)



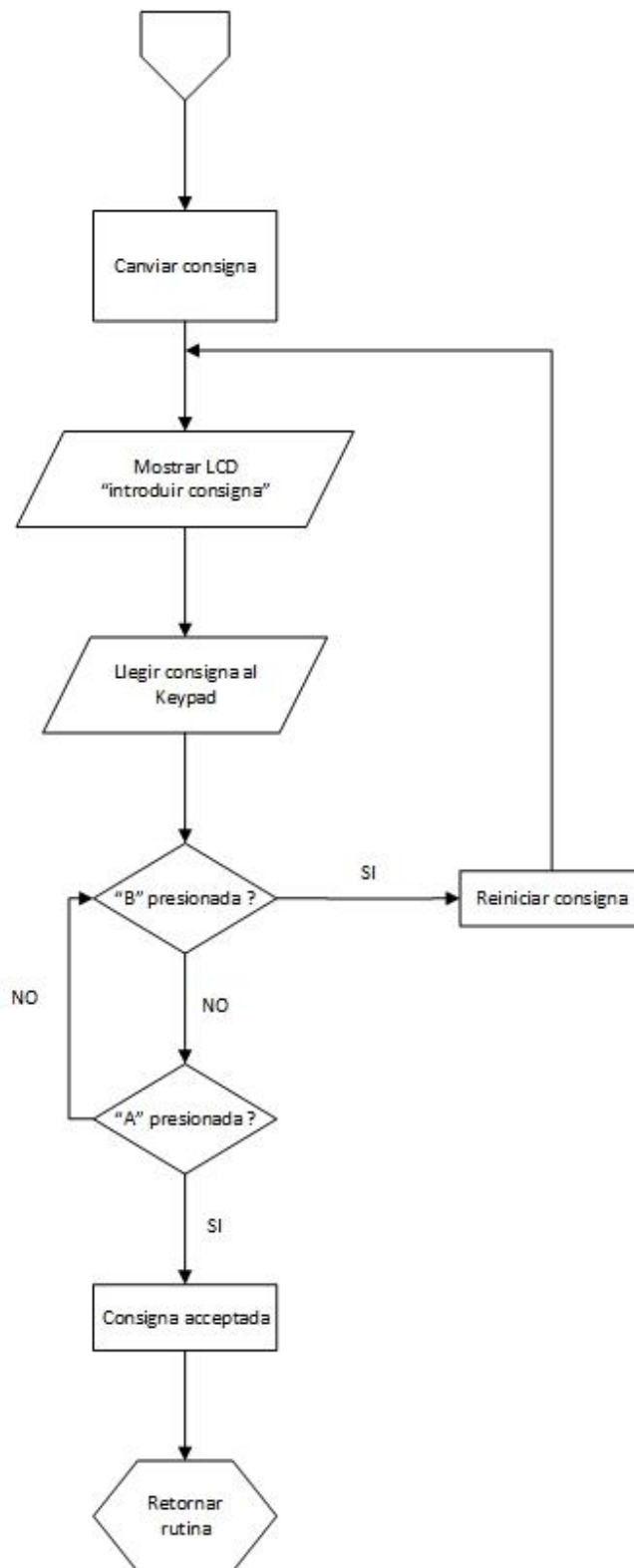
Imatge 63: Diagrama de flux del control automàtic (font: Elaboració pròpia)



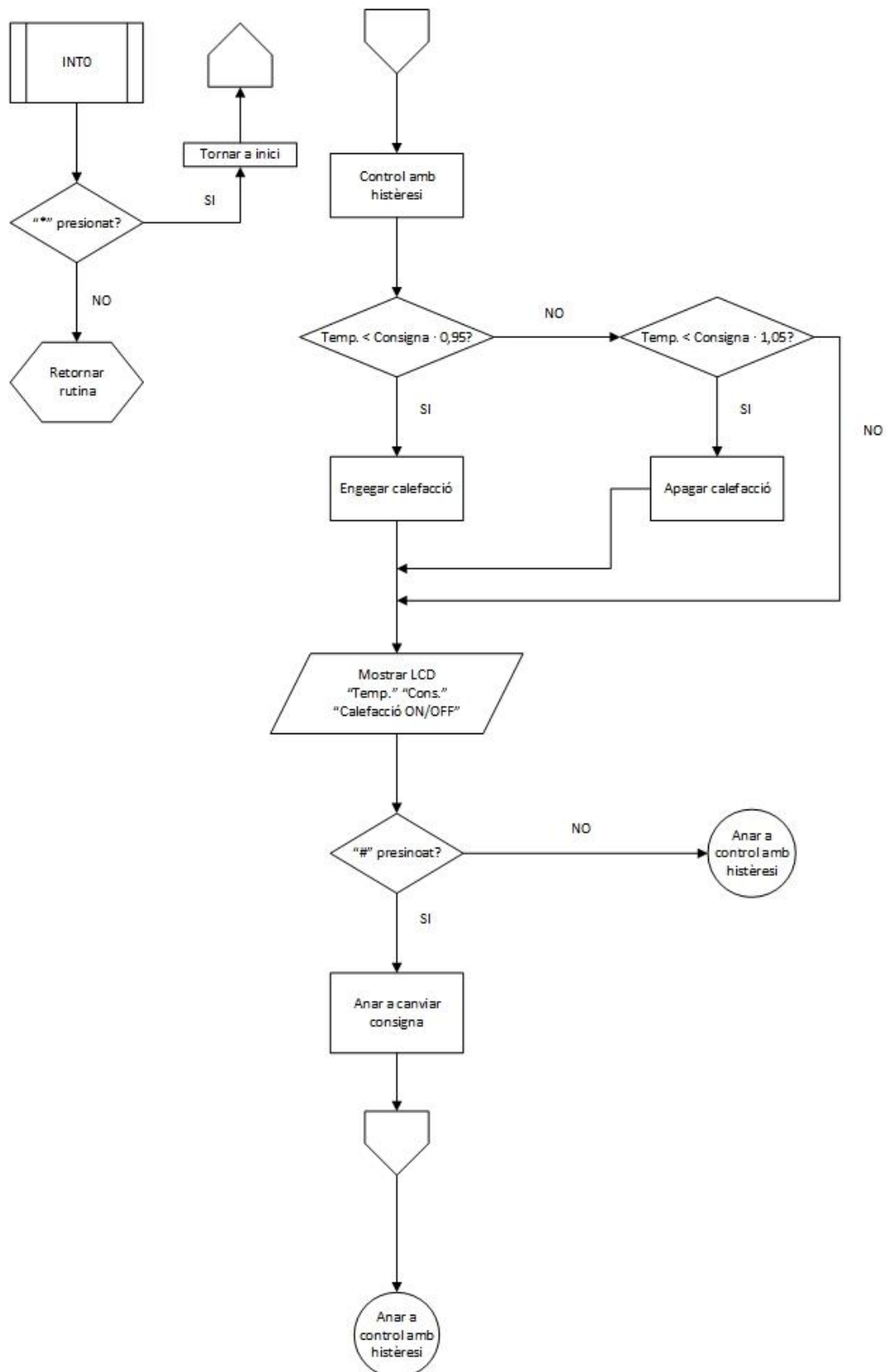
Imatge 64: Diagrama de flux 1 del control manual (font: Elaboració pròpia)



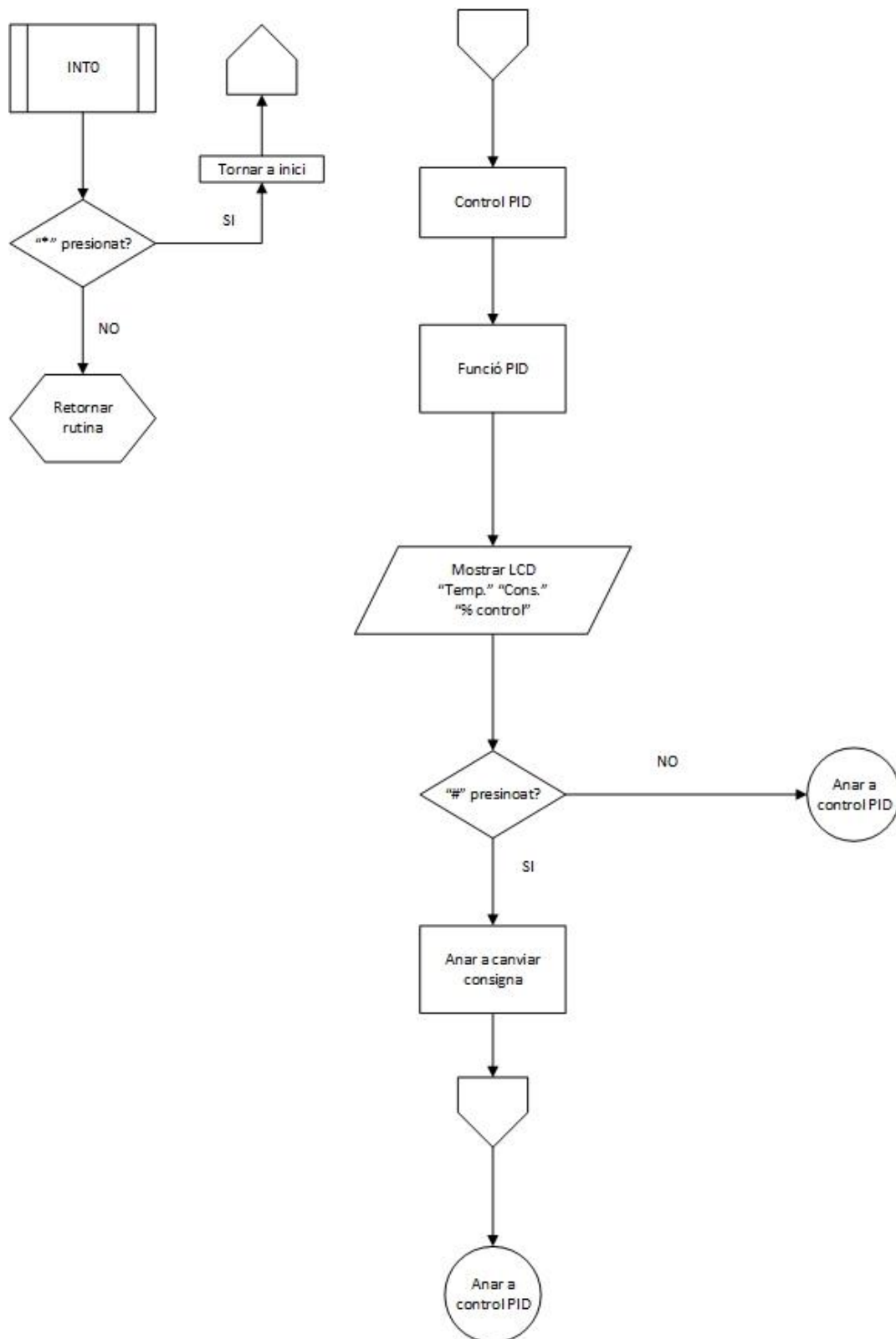
Imatge 65: Diagrama de flux 2 del control manual (font: Elaboració pròpia)



Imatge 66: Diagrama de flux del mode canviar consigna (font: Elaboració pròpia)



Imatge 67: Diagrama de flux del control amb histèresi (font: Elaboració pròpia)



Imatge 68: Diagrama de flux del control PID (font: Elaboració pròpia)

9. Normativa

En aquest capítol es recollirà el conjunt de normes que ha de complir la instal·lació elèctrica i electrònica en un habitatge, siguin de caràcter Nacional, Internacional o Europeu.

- Norma UNE-CWA 50487 IN Codi de pràctica de l'habitatge digital.
- Norma UNE-EN 50090-2-2:98 Sistemes electrònics per habitatges (HBES).
- Norma UNE-EN 16484-2:2005. Sistemes d'automatització i control d'edificis.
- AENOR EA0026: 2006 Instal·lació de sistemes domòtics en habitatges. Prescripcions generals d'instal·lació i avaluació.
- Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (RD 842/2002).
- Directiva de Restricció de certes substàncies perilloses RoHs (2002/95/CE).
- Auditoria i Certificació de Sistemes de qualitat segons la directiva 2006/42/CE (TUV).

10. Possibles millores

10.1.1. Regulació de la calefacció amb radiadors d'aigua

Com ja s'ha explicat anteriorment en la Taula 1 els radiadors d'aigua són més eficients que els elèctrics però per contra fer-ne una regulació eficient, per exemple amb un control PID independent en cada habitació, és una tasca molt complicada. És per això que dissenyar un sistema que fos capaç de regular aquests radiadors independentment sense utilitzar un control tot/res seria una gran millora.

Una possible solució seria instal·lar vàlvules de regulació del cabal d'aigua en cada radiador, regulant el flux d'aigua calenta i per tant la potència calorífica de cada un.

10.1.2. Instal·lació de unes interfícies millorades

La interfície és l'eina principal de l'usuari per poder-se comunicar amb la unitat de control domòtic, per això millorar-la seria una gran millora.

Aprofitant l'avenç de les pantalles tàctils en l'actualitat, instal·lar-les a l'habitatge seria molt recomanable. Al ser capaces tant de rebre informació com de visualitzar-ne estalvia la instal·lació dels teclats matricials, a més a més de tenir una dimensió més gran comparat amb les pantalles LCD instal·lades.

10.1.3. Realització de una comunicació amb ordinador

Incloure una comunicació amb ordinador utilitzant el bus de dades sèrie RS232 seria de gran utilitat per a comptabilitzar els consums de cada aparell i generals de la casa, fer-ne gràfiques o emmagatzemar-los durant el temps. Amb aquesta informació es podria realitzar algun estudi per tal de millorar-ne l'eficiència energètica general i optimitzar la tarifa contractada.

11. Conclusions

Un cop finalitzat el projecte es pot concloure que els objectius principals han sigut assolits correctament. La instal·lació domòtica soluciona els principals problemes d'ineficiència energètica d'un habitatge de l'actualitat. L'habitatge aprofita el màxim tant la llum exterior, com una tarifa energètica de discriminació horària com s'havia establert en els paràmetres principals de disseny. Per comprovar la certificació d'instal·lació domòtica s'ha realitzat el qüestionari que ofereix CEDOM en la seva pàgina web, obtenint el nivell 2 sobre 3 en qualitat d'instal·lació domòtica, s'han obtingut 30 punts i repartits en més de 3 camps d'aplicació. Aquest qüestionari es pot trobar a la bibliografia.

El fet de millorar l'eficiència energètica dels habitatges tindrà una gran importància en un futur present a causa de directives Europees que obligaran l'eficiència en els nous habitatges, pertant la instal·lació d'aquest habitatge pot servir de pauta per als futurs habitatges.

Amb aquest projecte es pot apreciar el potencial dels microcontroladors PIC, ja que són capaços de controlar tots els elements d'un habitatge i desenvolupar les mateixes funcions que sistemes molt més cars com KNX o LonWorks.

Finalment, exposar que amb el desenvolupament d'aquest projecte he adquirit coneixements en el disseny d'instal·lacions en un habitatge, començant pel plantejament del problema, continuant amb l'elecció de les solucions i finalitzant amb el disseny elèctric i electrònic. Amés a més l'aprenentatge de programes de disseny i simulacions molt potents com Proteus, Eagle, Autocad, etc.

12. Bibliografia

- [1] <http://www.consultoriaenergetica.eu/>
- [2] <https://www.researchgate.net/>
- [3] <https://www.se.com/es/es/product-range/2078-detectores-de-movimiento/>
- [4] <http://ecetutorials.com/analog-electronics/schmitt-trigger/>
- [5] <https://www.luisllamas.es/arduino-teclado-matricial/>
- [6] <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/TIP140-D.PDF>
- [7] Microchip: <http://www.microchip.com/> (consultat entre Març i Juny)
- [8] National Instruments: <http://www.ni.com/> (consultat el 03/04/2019)
- [9] Texas instruments: <http://www.ti.com/#> (consultat el 10/04/2019)
- [10] STMicroelectronics: <https://www.st.com/> (consultat el 20/04/2019)
- [11] Todo PIC: www.todopic.com (consultat durant el Maig)
- [11] All datasheet: <http://www.alldatasheet.com/> (consultat entre Abril i Juny)
- [12] Ondaradio: <http://www.ondaradio.es/> (consultat entre Abril i Juny)
- [13] Asociación española de Domótica: <http://www.cedom.es/> (consultat el 20/03/2019)
- [14] Qüestionari per avaluar el nivell de domotització de l'habitatge:
<http://www.cedom.es/sobre-domotica/tabla-de-niveles-para-evaluacion-de-instalaciones-domoticas#aqui> (consultat el 30/05/2019)
- [15] Bloc de Luis Llamas: <https://www.luisllamas.es/> (consultat entre Maig i Juny)
- [16] OMRON: www.omron.es (consultat el 15/04/2019)
- [17] Schneider: <https://www.schneider-electric.es/> (consultat el 15/04/2019)
- [18] Libro CCS PIC: García Breijo, Eduardo; Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC; Ed. Marcombo, Primera edición, Junio de 2008.